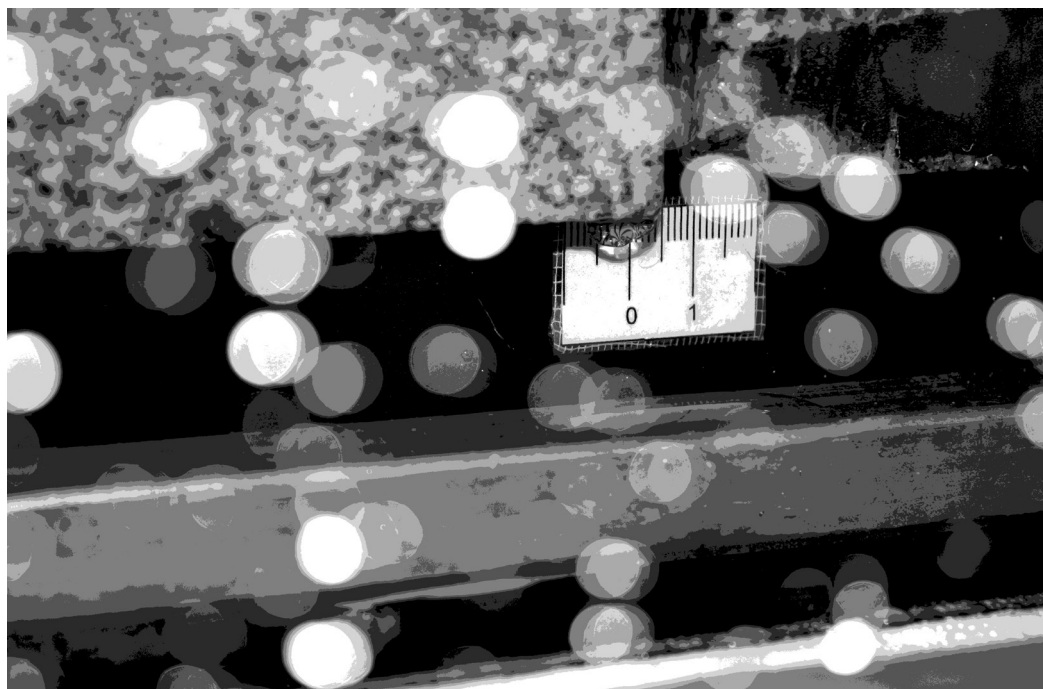


TESIS DE DOCTORADO



**CONTRIBUCIÓN DE ENTRADA DE AGUA EN APLACADOS
VENTILADOS DE PIEDRA EN FUNCIÓN DEL DISEÑO
DE LAS JUNTAS VERTICALES**

M^a BELÉN BOUZA CORA

Director

JOAQUÍN FERNÁNDEZ-MADRID

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

Escola Técnica Superior de Arquitectura

2015 UDC



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

TESIS DE DOCTORADO



**CONTRIBUCIÓN DE ENTRADA DE AGUA EN APLACADOS
VENTILADOS DE PIEDRA EN FUNCIÓN DEL DISEÑO
DE LAS JUNTAS VERTICALES**

M^a BELÉN BOUZA CORA

Director

JOAQUÍN FERNÁNDEZ-MADRID

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

Escola Técnica Superior de Arquitectura

2015 UDC

Tribunal nombrado por el Mgfco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad de A Coruña,
el día de de 201 .

Presidente D./Dña.

Vocal D./Dña.

Secretario/a D./Dña.

Suplente D./Dña.

Suplente D./Dña.

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día de 201 ,
en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Calificación:

PRESIDENTE

VOCAL

SECRETARÍO

Dedicado a
Iago, Xael y Santi

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi agradecimiento a las personas e instituciones que me han acompañado en la elaboración de esta Tesis.

Ante todo a la Universidad de A Coruña, sin el personal técnico y las instalaciones del laboratorio de hidráulica del CITEEC, no hubiera sido posible su desarrollo.

A la empresa Proesga S.L. por facilitarnos el material necesario para abordar esta investigación.

A la empresa Granitos Ousinde S.L. que nos permitió disponer de sus instalaciones y personal, ayudándonos en los trabajos de manipulación de los aplacados de granito.

Y por supuesto a Joaquín Fernández Madrid por sus sabios consejos y apoyo incondicional como director.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ESTADO DEL ARTE	5
3.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
4.	JUSTIFICACIÓN METODOLOGICA	23
5.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.	33
6.	CONCLUSIONES	187
7.	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	199

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ESTADO DEL ARTE	5
3.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
4.	JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	23
4.1	ESTRUCTURA Y CONTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN	31
5.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	33
5.1	DISEÑO DEL PROTOTIPO DE FACHADA	35
5.2	MONTAJE DEL PROTOTIPO DE FACHADA	41
5.3	ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL	53
5.3.1	ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL LISA	57
	a. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical lisa 5 mm	
	b. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa 5 mm	
	c. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical lisa 7,5 mm	
	d. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa 7,5 mm	
	e. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical lisa de 10 mm	
	f. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa 10 mm	
5.3.1.1	COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL LISA	71

5.3.2	ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL ACANALADA	75
	a. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical acanalada 5 mm	
	b. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada 5 mm	
	c. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical acanalada 7,5 mm	
	d. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada 7,5 mm	
	e. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical acanalada 10 mm	
	f. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada 10 mm	
5.3.2.1	COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL ACANALADA	85
5.3.3	ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL REBAJADA	88
	a. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical rebajada 5 mm	
	b. Resultados e interpretación. Junta vertical rebajada 5 mm	
	c. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical rebajada 7,5 mm.	
	d. Resultados e interpretación. Junta vertical rebajada 7,5 mm	
	e. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical rebajada 10 mm	
	f. Resultados e interpretación. Junta vertical rebajada 10 mm	
5.4.3.1	COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL REBAJADA	99
5.3.4	COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL DISEÑO DE JUNTA VERTICAL	103
5.4	ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL SEGÚN DISEÑO Y JUNTA HORIZONTAL LISA	109
5.4.1	ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL LISA5	113
	a. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical lisa y horizontal lisa 5 mm	
	b. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa y horizontal lisa 5 mm	
	c. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical lisa y horizontal lisa 7,5 mm	
	d. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa y horizontal lisa 7,5 mm	
	e. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical lisa y horizontal lisa 10 mm	

f. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa y horizontal lisa 10 mm	
5.4.1.1 COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA	124
5.4.2 ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL ACANALADA	128
a. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical acanalada y horizontal lisa 5 mm	
b. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada y horizontal lisa 5 mm.	
c. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical acanalada y horizontal lisa 7,5 mm	
d. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada y horizontal lisa 7,5 mm	
e. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical acanalada y horizontal lisa 10 mm	
f. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada y horizontal lisa 10 mm	
5.4.2.1 COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA	139
5.4.3 ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL REBAJADA	145
a. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical rebajada y horizontal lisa 5 mm	
b. Resultados e interpretación. Junta vertical rebajada y horizontal lisa 5 mm	
c. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical rebajada y horizontal lisa 7,5 mm	
d. Resultados e interpretación. Junta vertical rebajada y horizontal lisa 7,5 mm	
e. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical rebajada y horizontal lisa 10 mm	
f. Resultados e interpretación. Junta vertical rebajada y horizontal lisa 10 mm	
5.4.3.1 COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA	157
5.4.4 COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL DISEÑO DE JUNTA VERTICAL	162
5.5 ENSAYO MEJORADO DE JUNTA VERTICAL Y HORIZONTAL: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA	169

a. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical acanalada y horizontal rebajada 5 mm	
b. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada y horizontal rebajada 5 mm	
c. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical acanalada y horizontal rebajada 7,5 mm	
d. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada y horizontal rebajada 7,5 mm	
e. Observaciones durante la realización de ensayos. Junta vertical acanalada y horizontal rebajada 10 mm	
f. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada y horizontal rebajada 10 mm	
5.5.1.1 COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA	183
6. CONCLUSIONES	187
7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	199

RESUMEN

ABSTRACT

The constructive system of ventilated facade has been a breakthrough in the quest to minimize the entry of water into the buildings. However, until now, they have not been addressed in depth issues such as the incidence and degree of infiltration of water produced by the open joints.

This thesis emerges as development a research line, addressed to solve some of these issues, focusing on the contribution of water entering in a stone ventilated facade, depending on the design of the vertical joint and its subsequent combination to the study of the horizontal joint.

Thus they obtained through laboratory testing, objective data that enables us to make a number of key recommendations to properly undertake the joint design of a stone ventilated facade.

El sistema constructivo de fachada ventilada ha supuesto un gran avance en la búsqueda de minimizar la entrada de agua al interior de los edificios. Sin embargo, hasta ahora, no se han abordado en profundidad cuestiones tales como la incidencia y el grado de infiltración de agua que se produce por las juntas abiertas de dicho sistema.

Esta Tesis, surge como desarrollo de una línea de investigación, que trata de solventar algunas de estas cuestiones, centrándose en la contribución de entrada de agua en aplacados ventilados de piedra, en función del diseño de la junta vertical y de su combinación con la junta horizontal.

Se obtienen así, a través de los ensayos de laboratorio, datos objetivos que nos permiten realizar una serie de recomendaciones esenciales para acometer adecuadamente el diseño de las juntas de una fachada ventilada de piedra.

RESUMO

O sistema construtivo de fachada ventilada supuxo un gran avance na procura de minimizar a entrada de auga ao interior dos edificios. Con todo, ata agora, non se abordaron en profundidade cuestións tales como a incidencia e o grao de infiltración de auga que se produce polas xuntas abertas do devandito sistema.

Esta Tese, xorde como desenvolvemento dunha liña investigación, que trata de resolver algunhas destas cuestións, centrándose na contribución de entrada de auga en aplacados ventilados de pedra, en función do deseño da xunta vertical e da súa combinación coa xunta horizontal.

Obtéñense así, a través dos ensaios de laboratorio, datos obxectivos que nos permiten realizar unha serie de recomendacións esenciais para acometer adecuadamente o deseño das xuntas dunha fachada ventilada de pedra.

1. INTRODUCCIÓN

Desde sus orígenes, el hombre ha buscado proteger su cobijo de las condiciones atmosféricas adversas, persiguiendo la eliminación de factores externos como el agua. El sistema constructivo de fachada ventilada, surge así como consecuencia y avance en la búsqueda de minimizar la entrada del agua en el interior de los edificios.

“La evolución hacia la fachada ventilada se ha consolidado en esta última década. Dejamos la hoja exterior de ladrillo como cerramiento libremente dilatable, para ir a buscar pieles exteriores más diversas”.¹

Aparece de este modo un sistema constructivo innovador, que busca neutralizar la entrada de agua en el interior de los edificios a través de sus cerramientos. Gracias a la evolución de la técnica, el sistema se ha desarrollado marcado por las exigencias estéticas del mercado y de los propios arquitectos. La capa exterior ha ido adelgazando paulatinamente, convirtiéndose en placas de distintos tamaños y espesores que a su vez se han anclado a la hoja interior o a la subestructura que se une a los forjados. Se produce así un proceso de estratificación del cerramiento en el que se van especializando los elementos que lo componen.

De este modo, se han resuelto los problemas que derivaban de un cerramiento, a base de engrosar o disminuir el mismo, exigiéndole cada vez más eficacia. Cabe aquí mencionar al biólogo Ramón Folch, cuando enunciaba que a los arquitectos nos cuesta aceptar, que la fachada es una sofisticada membrana y que tiene que diseñarse como tal. Una membrana a la que se le encomienda el control de los más diversos aspectos; control del flujo térmico, control del flujo de aire, control del flujo de vapor de agua, control del movimiento del agua, durabilidad de los materiales, comportamiento frente al fuego, resistencia y rigidez.

En estas condiciones, surge en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la E.T.S.A de A Coruña un proyecto de investigación dirigido por D. Joaquín Fernández Madrid, que aborda el estudio de las fachadas ventiladas y dentro del cual se desarrolla una sección especial dedicada a los aplacados de piedra.

Como parte de esta línea de investigación se inicia en el año 2009, conjuntamente por esta doctoranda y por D. Felipe García Bescansa, un estudio sobre el “*Comportamiento de cerramientos trasventilados de piedra a la lluvia-viento*”, que culmina en el año 2010 con la obtención del Diploma de Estudios Avanzados. Este estudio consiste en analizar en una fachada ventilada con acabado de piedra, la relación que existe entre la entrada de agua en la cámara de aire y la amplitud de la junta horizontal lisa, según el grado de confinamiento de

1 C. Pardal y I. Paricio, 2006:8

la cámara. Para ello se diseñó un prototipo de fachada ventilada de un metro cuadrado, con una junta horizontal, el cual se ensayó en el banco de pruebas del laboratorio de hidráulica del CITEEC (Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil) de la Universidad de a Coruña. De este estudio se obtuvieron una serie de datos acerca de la mejor amplitud de la junta horizontal lisa para una menor infiltración de agua en la cámara de una fachada ventilada.

Así pues, esta tesis se enmarca dentro de esta línea de investigación, tratando de cuantificar la entrada de agua por las juntas de un aplacado ventilado de piedra. De este modo se realizan simultáneamente dos estudios, abordando el diseño de la junta horizontal el doctorando D. Felipe García Bescansa, y el diseño de la junta vertical yo misma. Estos estudios estarían inacabados, si no se combinasen ambas juntas, para ver la incidencia real de cada una de ellas en el despiece habitual de una fachada ventilada, el cual combina junta horizontal con junta vertical. Razón por la que se han ampliado ambas investigaciones combinando y analizando la junta vertical y horizontal.

De este modo, mi investigación, ha estudiado en primer lugar la contribución de agua a través de la junta vertical, según su diseño y amplitud (5, 7,5 y 10 mm), en un fachada ventilada de piedra y en una segunda fase ha combinado la junta vertical, según su diseño, con la junta horizontal lisa.

Los puntos de partida han sido similares en ambas investigaciones, y ha existido mutua colaboración en la transferencia de datos, a partir de los cuales se ha establecido el mejor diseño de junta vertical y el mejor diseño de junta horizontal. Estos a su vez, han originado un último estudio para verificar con datos fiables los resultados obtenidos mediante los ensayos correspondientes.

Los artículos consultados sobre fachadas ventiladas coinciden en la valoración positiva de dejar las juntas abiertas y permitir que el agua se infiltre en la cámara. También indican que la ecualización de la cámara, disminuye notablemente la infiltración de agua. Sin embargo no indican, con datos científicos, la cantidad de agua que entra por las juntas verticales y horizontales, ni bajo que condiciones. Igualmente se han encontrado en diversos artículos, referencias al diseño de la junta con intención de minimizar las fuerzas que provocan la entrada de agua en la cámara, aunque siempre referidos a juntas horizontales, cuestiones que se abordarían con más detalle en el capítulo del estado del arte.

Asumiendo por lo tanto la existencia de numerosos vacíos en este campo del conocimiento, esta tesis surge con la intención de aportar datos fidedignos relativos a la infiltración de agua a través de las juntas de los aplacados de piedra de una fachada ventilada.

2. ESTADO DEL ARTE

En este apartado se realizará un breve recorrido cronológico, a través de los antecedentes, en lo relativo al estado de la cuestión hasta el momento actual. En primer lugar se acometerá un análisis de las publicaciones existentes, sobre entrada de agua en fachadas ventiladas para a continuación concretar en los escritos acerca de la entrada de agua por las juntas de una fachada ventilada.

Se abarca por lo tanto, el estado de la investigación en distintos ámbitos detectando los vacíos existentes y justificando la presente línea de investigación.

La búsqueda de sistemas constructivos que mejoren la calidad de los cerramientos y sobre todo eviten la entrada de agua, se ha sucedido a lo largo de la historia. Ya en al época romana, se conocen ejemplos de paredes ventiladas que surgen para eliminar la humedad y la condensación, aunque estos sistemas no se han comenzado a estudiar en profundidad hasta bien entrado el siglo XX.

La construcción inglesa, el cavity wall anglosajón, es el referente más cercano a nuestros tiempos del que se tiene una constancia más directa. Se trata de un muro de dos hojas de medio pie con cámara ventilada entre ellos. La hoja interior es portante y se apoya en los forjados mientras que la exterior es continua y se une a la primera mediante grapas de acero. La altura de este muro tradicional se limita a tres plantas. La función de la cámara consiste en evacuar las humedades que atraviesan la hoja exterior.

Nos encontramos así con lo que se conocerá como un sistema multicapa, una capa exterior, una cavidad ventilada y otra capa interior.

En el año 1946 Johansson decía *"(...)está claramente desaconsejado permitir a los muros, ya sean de ladrillo o cemento poroso, que se expongan a fuertes lluvias. Absorben agua como un papel absorbente, y podría por lo tanto ser un gran paso adelante si se dispusiese una capa exterior que repeliese el agua, con buenas características desde el punto de vista de la apariencia, dureza, mecánica y coste. Esta capa podría ser utilizada para que el vapor de agua que viniese desde dentro sea automáticamente eliminado por ventilación del espacio entre el muro y la capa exterior"*¹.

Posteriormente en los años sesenta, la comunidad noruega empezó a estudiar e investigar los mecanismos de entrada de agua en los edificios, observando que se podía prevenir la entrada de agua en las fachadas eliminando la diferencia de presión en estas.

En el año 1962 O. Bikerland publicó *"Curtain Walls"* en dónde indicaba lo siguiente:

1 Johansson, 1946 (en Hutcheon 1953:22)

“La única solución práctica al problema de la penetración de la lluvia es diseñar el rainproof exterior bastante abierto para que ninguna superpresión se pueda crear sobre las uniones o los sellados del acabado. Este efecto se consigue proporcionando un espacio de aire detrás del acabado exterior, pero con conexión al aire exterior. Las olas de la presión de aire creadas por las ráfagas de viento entonces serán igualadas en ambos lados del acabado”².

O. Bikerland observó seis fuentes principales causantes de la entrada de agua en los cerramientos, diferencias de viento inducidas de la presión de aire, capilaridad, gravedad, energía cinética, corrientes de aire y corrientes de aire ascendentes. Sin embargo serán los investigadores canadienses, incitados por el propio O. Bikerland quienes realicen un estudio intensivo sobre las filtraciones de agua en los muros.

En 1963 G.K. Garden, a partir de los trabajos realizados por sus antecesores en la investigación sobre las fachadas, expone en la publicación “Rain penetration and its control” el concepto de “rainscreen” o pantalla pluvial. Esta publicación, considerada como la fuente de referencia en el tema, popularizó el principio de la fachada ventilada. En este estudio G.K. Garden indica, como un revestimiento exterior con juntas abiertas puede actuar de paraguas, protegiendo así la hoja interior del cerramiento, separadas ambas capas únicamente por una cámara de aire dónde la presión es igual a la exterior. Así pues disponer de huecos de ventilación en la capa exterior, permite una rápida equipresurización de la cavidad de aire con la presión exterior.

“Incluso cuando el agua está disponible y existe una abertura, la fuga no se produce a menos que una fuerza o combinación de fuerzas estén disponibles para mover el agua a través de la abertura. Las fuerzas que contribuyen a la penetración de la lluvia son la energía cinética de la gota de lluvia, succión capilar, la gravedad y las diferencias de presión de aire”³.

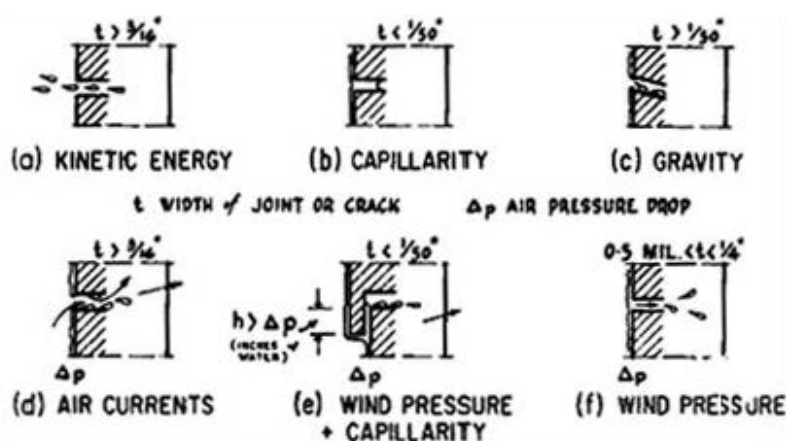


Figura 2.1 Imagen de las Fuerzas que producen la penetración de la lluvia. Autor: Garden (CBD40)

Tanto O. Bikerland como G.K. Garden solucionan el problema con un sistema constructivo que limita la entrada de agua, igualando las presiones, e intentando eliminar

2 Bikerland, 1962 (Technical notes 27. Brick Masonry Rain screen walls. 1994)

3 Garden, 1963 (Rain penetration and its control, CBD 40, Division of Research, National Research Council of Canada)

las distintas fuerzas que nombran como causantes de la entrada de agua en la cámara. G.K. Garden recomienda a su vez, sectorizar la cámara de aire de las fachadas ventiladas para igualar en la mayor medida la presión exterior y la interior, indicando criterios a seguir en cuanto a proporciones y medidas de la sectorización. Sin embargo se ha demostrado que el agua sigue infiltrándose en la cámara de las fachadas ventiladas, el confinamiento de las mismas reduce la infiltración pero no la elimina.

Este sistema se conoce con distintos nombres según los diversos estudios y países en los que se producen desde Rain Screen, Presurre Equalized Rain Screen, Back Ventilated Cavity, etc... dando lugar a confusiones sobre el concepto.

En 1968 G.A. Gubas publica *“Experience in the promotion and application of the open joint technique for wall cladding in U.K”*, donde describe la investigación realizada para la climatología del Reino Unido, considerando el índice pluviométrico, la temperatura y la velocidad del aire, concluyendo que el sistema de fachada ventilada con prefabricados con juntas abiertas ofrece numerosas ventajas.

En 1988 J.M. Anderson y J.R. Gill clasifican los distintos sistemas de fachadas multicapa, agrupándolos según su funcionamiento y diseño:

En primer lugar definen el sistema ventilado y drenado *“Drained and Back Ventilated Rainscreen”*, D/BV, el cual se basa en diseñar las juntas de la capa exterior de forma que impida la penetración de agua de lluvia. Se agrupa a su vez en dos sistemas:

- *“Drained cavity wall”*; en este caso la barrera de aire la conforma la capa exterior ubicándose un drenaje en la parte inferior de la cámara. Se genera así una mayor imperfección del cerramiento ante los gradientes de presión de aire.
- *“Back Ventilated Cavity”*; aquí la cámara está ventilada por la parte inferior y superior, de manera que las diferencias de presión de aire debida al viento y a la temperatura entre la base y la cubierta de un edificio fuerzan, un movimiento de aire, denominado *“Stack effect”* (efecto chimenea) que ayuda al secado de la cavidad.

En segundo lugar explican el sistema con cámara equipresurizada y compartimentada, conocida en el mundo anglosajón como *“Pressure-Equalized and Compartmented Rainscreen”* PE/C, que radica básicamente en eliminar la penetración de agua, no sellando las juntas de la capa exterior permitiendo el equilibrio de presiones entre el exterior y la cámara de aire.

En 1999 Straube y Burnett publican *“Rain Control and Design Strategies”* y realizan una calcificación de los muros ante el control de la lluvia, estableciendo los siguientes términos:

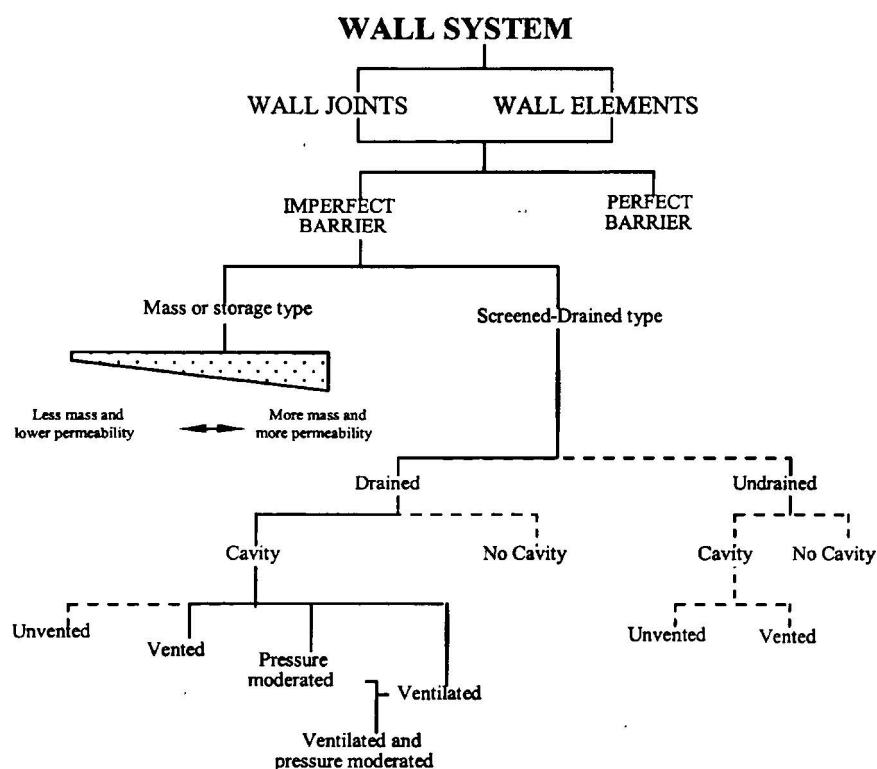
- *“vented”*, permite un grado de difusión de vapor de agua a través de la cavidad ventilada y redistribución dentro de la misma debido a la mezcla de aire y difusión de vapor.
- *“ventilated”* se concentran los huecos arriba y abajo permitiendo un flujo importante

de aire para promover el secado de vapor por el propio movimiento del aire.

- “*Pressured-moderated*”, modera las diferencias de presión de aire a través de la capa exterior. Si se alcanza la moderación perfecta, se denominaría equi-presurizado.

54

JOHN STRAUBE AND ERIC F. P. BURNETT



Notes:

The walls are categorised based on actual behaviour, not necessarily design intent.

For the purposes of this classification system, the following definitions are necessary:

Drained: the majority of the water that penetrates the screen is removed by gravity.

Cavity: a clear space or a filled space that facilitates gravity drainage and air flow and resists the lateral transfer of water (a capillary break).

Vented: allows some degree of water vapour diffusion through vents and by air mixing.

Ventilated: allows a significant flow of air largely to promote drying by mass vapour movement.

Pressure-moderated: an approach that moderates air pressure differences across the screen.

FIGURE 3. Wall classification with regard to rain penetration control.

Figura 2.2 Clasificación de Straube y Burnett de los muros ante el control de la lluvia. Fuente: John Straube y Eric F.P. Burnett

En el año 2007, Eduardo Montero publica “*Manual Básico. Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad*” en el cual se realiza un análisis sobre diversos aspectos de las fachadas ventiladas, señalando las ventajas y desventajas de la misma, así como describiendo un mejor comportamiento higrotérmico de la solución constructiva y del

aislamiento acústico. Respecto a la barrera contra el agua, determina que las fachadas expuestas al empuje de viento, presentan un mayor riesgo de entrada de agua, ya que en el interior del edificio siempre hay una menor presión debido a las succión indicada en la fachada opuesta. Aunque si se consiguen igualar las presiones de la cara expuesta del aplacado y la cámara, se pueden realizar fachadas con juntas abiertas. Indica a su vez, que aunque el agua no tiene por qué suponer un riesgo, ya que desliza por la cara interior de la placa, no siempre se puede asegurar la estanqueidad en los huecos, sobre todo en los dinteles o jambas, por lo que la solución es confinar la cámara sectorizándola. Incide por lo tanto en la necesidad de compartimentación vertical y horizontal. Una vez establecida esta solución, indica que la sectorización debe ser eficaz, sin que existan rendijas que permitan el escape de aire y modifiquen la presión interior. Igualmente permitirá la salida de agua, aunque sea escasa la que penetre por las juntas y además siempre existirá cámara entre el soporte y el aplacado para permitir su rápido secado. También debe impedir las infiltraciones en los encuentros de la cámara con los huecos.

Estudios de distintos autores recomiendan la ecualización de la cámara, para una menor infiltración de agua, sin llegar a determinar en que cantidad se reduce la infiltración, limitándose a indicar que es poca cantidad.

En 2010 J.F. Straube define tres estrategias para el control de la penetración de agua de lluvia a través de la fachada ventilada:

- 1ª. Face-sealed (Barrier wall) / Perfect Barrier System. Cara sellada / sistema de barrera impermeable perfecta. Basado en el drenaje del agua por la cara exterior

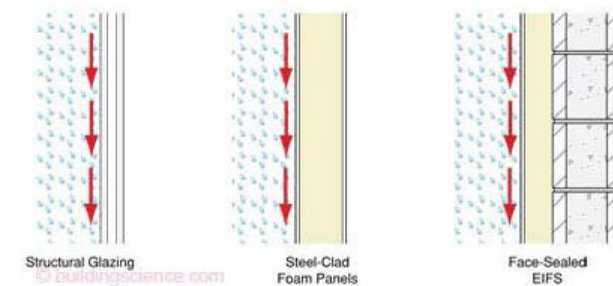


Figura 2.3 Perfect Barrier Walls (Straube)

conformando una barrera impermeable.

- 2ª. Storage or Mass System. Este estrategia consiste en proporcionar un conjunto con la masa de almacenamiento suficiente, capaz de absorber todo el agua de lluvia que no se drene o se elimine de la superficie exterior de otra manera.

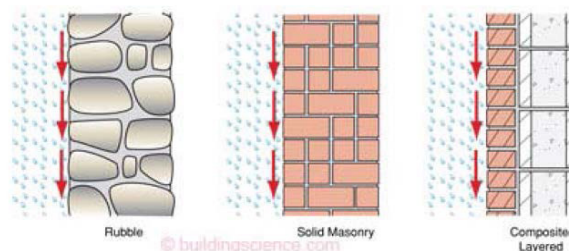


Figura 2.4 Storage Wall Systems (Straube)

3ª. Drained Systems. La tercera estrategia, consiste en permitir la entrada de agua de lluvia a través de la capa exterior confiando la evacuación al diseño de drenaje del conjunto.

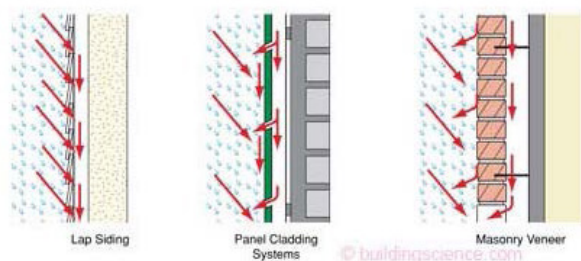


Figura 2.5 Drained Wall Systems (Straube)

En 2011 el profesor Javier Rivadulla explica en su tesis doctoral:

“Inicialmente los modelos utilizados en el norte de Europa y exportados a España en las décadas de los ochenta y noventa eran los sistemas de fachada trasventilada, los sistemas basados en el Back ventilated cavity. En España se realizaron fachadas con doble hoja de fábrica de ladrillo y entre ellas una cámara de aire garantizando la estanqueidad. (...) Posteriormente en España la adaptación del Rain Screen se ha redirigido hacia el empleo del sistema del Pressure equalized Rain Screen (PER)”.

Hasta aquí se ha hecho un breve resumen de las definiciones y descripción del sistema de fachada ventilada que han hecho diversos autores, incorporando recomendaciones para eliminar o minimizar la infiltración de agua a través de los cerramientos. Han sido muchos los investigadores que han estudiado este sistema constructivo en el siglo XX (Bikerland 19, Garden, Straubbe, Burnett) y principios del XXI, siguiendo diferentes líneas de investigación, que abarcan distintos puntos como la eficiencia energética (Giancola), la seguridad del sistema y su capacidad de adaptación a distintos materiales, la protección contra agentes externos y hasta su colonización biológica (Rivadulla). No hemos encontrado en estos, referencias a la influencia explícita de las juntas de los aplacados en la penetración de agua en la cámara, tales como su amplitud o diseño.

A partir de este punto analizaremos las publicaciones que han sido un referente para esta investigación y que han establecido un punto de partida de la misma.

En 1968 T. Isaksent, publica *“Rain leakage test on through-joints”* un estudio científico sobre el agua que se infiltra por las juntas horizontales de cerramientos de distintos materiales y espesores de junta, madera y hormigón, y la incidencia de la junta vertical en el conjunto, con objeto de investigar el diseño que mejor evacue el agua para evitar posibles patologías en los mismos, si bien en ningún momento se dan valores de infiltración de agua.

Como primera y más importante se destaca la publicación del año 1997 de Jaume Avellaneda, el cual escribe el artículo *“Impermeabilidad al agua en fachadas de placas ligeras con*

4 Rivadulla, 2011:78-79 (Tesis doctoral: Estudio transversal de la colonización biológica en fachadas ventiladas de granito en Galicia)

juntas abiertas”, expuesto en el I congreso Nacional de ventanas y fachadas ligeras, donde se profundiza en la exigencia de la impermeabilidad a la lluvia de fachadas de placas ligeras con juntas abiertas. A su vez estudia el comportamiento de estas fachadas cuando varía el espesor de las placas, el ancho de las juntas, el tipo de precipitación, así como la presión de viento a que se someten estas. De esta forma realiza tres ensayos, partiendo de la premisa de que el agua puede entrar en la junta horizontal abierta principalmente a partir de tres fenómenos, la tensión superficial, la presión del viento, y la energía cinética. Las juntas planteadas son de 4, 6, 8, 10 mm siempre abiertas, con placas de espesores de 30 y 40 mm de DM, sometidas a distintos tipos de precipitaciones y dos hipótesis de presión de viento, cámara de igualación de presión y cámara ventilada con presión de viento sobre la cara exterior de la junta.

Este artículo es muy relevante para nuestro estudio ya que en el análisis que realiza sobre la influencia del ancho de la junta y espesor de la placa en la cantidad de agua que penetra a través de la junta por efecto de la tensión superficial, concluye que en juntas de 4 y 6 mm de ancho el agua no se infiltra en la cámara debido a la tensión superficial en la junta *“punteándola”*, penetrando sin embargo en grandes cantidades en juntas de 8 y 10 mm ya que la lámina de agua se rompe al pasar por la junta. A su vez, esto lo relaciona con la intensidad de precipitación y la influencia de la presión de viento.

Indica también, que las juntas verticales son utilizadas como drenaje, por lo que cierta cantidad de agua es conducida por la junta horizontal hasta ellas. Establece a su vez que la cantidad de agua drenada por la vertical es constante no dependiendo del ancho de la junta horizontal ni de la intensidad de precipitación. Sin embargo, no aporta datos del agua que se desvía, esto implica que no se puedan valorar datos reales de entrada de agua por la junta horizontal ya que siempre está desviándose una cantidad indeterminada por la vertical.

En nuestro estudio, nos interesa cuantificar las cantidades con mayor exactitud debido a la mayor libertad que ello supondrá a la hora de diseñar una fachada, tanto desde el punto de vista estético como técnico, es decir, estableciendo pautas en cuanto a la disposición de las juntas y a la tipología de anclajes de los aplacados.

Analiza además, la influencia del ancho de junta y espesor de la placa en la cantidad de agua que alcanza la cara interior de la cámara de aire por efecto de la energía cinética de la gota de lluvia, concluyendo que para anchos de junta de 3 y 4 mm en placas de 40 mm el agua que alcanza la cara interior de la placa es insignificante, lo que no ocurre en anchos superiores. Con placas inferiores a 40 mm, incluso las juntas de 4 mm permiten que el agua alcance la cara interior de la cámara. Matiza igualmente que la cantidad de agua que alcanza la cara interior de la cámara no depende del ancho de la misma cuando ésta oscila entre 7 y 29 cm.

Finalmente en las conclusiones, expone que en caso de lluvia real, existe viento, y es muy difícil que una cámara sea de igualación de presiones al 100%, por lo que una fachada construida con placas con juntas abiertas permitirá la entrada de agua, la cual circulará por su intradós y mojará la cara interior de la cámara.

En 1999 Jaume Avellaneda e Ignacio Paricio publican *“Los revestimientos de piedra”* en dónde realizan un análisis del funcionamiento de una fachada ventilada centrándose en los aplacados de piedra. En cuanto a la referencia a la impermeabilidad de estas fachadas,

hablan de las juntas indicando que el agua penetra a través de ellas por tres fenómenos: tensión superficial, diferencia de presión entre el exterior y la cámara y energía cinética de la gota de lluvia. A su vez escriben lo siguiente:

“En todos los casos el ancho de la junta es determinante en su comportamiento frente a la entrada de agua; en juntas de 5 mm o menos, difícilmente realizables por motivos constructivos, los fenómenos de entrada de agua por tensión superficial o energía cinética de la gota de lluvia son insignificantes, mientras que en juntas de 10 mm la entrada de agua puede ser abundante. En general el ancho de junta que suele utilizarse es de 6 a 8 mm por lo que hay que contar que cierta cantidad de agua penetrará en la cámara”⁵.

Sin embargo en esta publicación no se aporta ningún nuevo conocimiento acerca de la incidencia real del agua en la cámara, limitándose a asumir la investigación realizada por Jaume avellaneda en el año 1997 y comentada anteriormente.

En el año 2006 Cristina Parda e Ignacio Paricio escriben *“La fachada. Ventilada y Ligera”*. Después de hacer un breve análisis de la evolución de la fachada tradicional hasta la fachada ventilada, se detienen a estudiarla desde diversos aspectos constructivos. Encontramos aquí una clara referencia a la junta:

“...la cámara no sirve de nada si las gotas de agua, impulsadas por la energía cinética que han adquirido empujadas por el viento, pueden atravesar la pantalla exterior por sus juntas, salvar la cámara y llegar hasta la parte interior de ésta. Para evitarlo, la junta de la hoja exterior debe diseñarse de manera que impida esa penetración, mediante juntas laberínticas, sesgadas hacia arriba, etc.. o dificultarla de tal manera (por su estrechez), que el caudal total que atraviesa sea mínimo”⁶.

Aparece así, una referencia al diseño de la junta para minimizar la infiltración de agua, aunque siempre vinculado a las juntas horizontales. Recogen además en su estudio las investigaciones de Jaume Avellaneda.

En el año 2007 Joaquín Fernandez Madrid, tutela el *“I Estudio de la influencia de la superficie de ventilación en la ecualización de la presión de una fachada ventilada”*, fruto de la línea de investigación del departamento de construcciones arquitectónicas de la E.T.S.A de a Coruña de fachadas ventiladas y que dará lugar, entre otros, al artículo *“Study of influence of wind pressure and rain conditions in rainscreen walls”* (2014) recomendando que la cámara debe ser categorizada, separando zonas con presiones diferentes. Cuando la cámara no está categorizada, habrá pues corrientes de aire que se muevan dentro de la cavidad, y por lo tanto la cantidad de agua infiltrada por huecos y uniones aumentará. A su vez argumenta que la forma de los cantos de placas, es decisiva para prevenir la infiltración de agua. Siendo esta afirmación una intuición que no se constata con datos, pero que abre una línea de investigación.

En 2010 encontramos el artículo, producto de la investigación llevada a cabo por P. Huedo Dordá, A.M. Pitarch Roig, A. Centelles Escrig y L. Monfort Gurrea, *“Entrada de agua en las juntas de las fachadas ventiladas”*, en el resumen indica que las fachadas se clasifican según las tipologías de juntas horizontales y verticales, abiertas o cerradas, para poder así analizar

5 Jaume Avellaneda e Ignacio Paricio, 1999. “Los revestimientos de piedra”, pag 12.

6 Cristina Parda e Ignacio Paricio, 2006 “La fachada. Ventilada y Ligera”, pag 41

el comportamiento de estas frente al agua, directa, indirecta o de escorrentía. Sin embargo el trabajo se centra en el estudio de las juntas horizontales abiertas para analizar la relación entre el tamaño de estas y la entrada de agua en el interior de la cámara de las fachadas ventiladas. Distinguen a su vez, tres mecanismos de entrada de agua, por tensión superficial, por diferencia de presión y entrada directa por viento, analizando cuáles influyen en las juntas verticales y cuáles en las horizontales. Es la única referencia que nos encontramos a la junta vertical. Además establecen mediante un estudio de campo de mediciones en distintos edificios construidos y consultas con casas comerciales, que la mayor parte de las juntas horizontales es superior a 6 mm mientras que para juntas verticales pueden disponerse espesores menores. Para comprobar la entrada de agua en función del ancho de la junta, así como la trayectoria final de esta, diseñan tres prototipos uno para aplacados cerámicos y dos para piedra natural de 20 y 38 mm de espesor con distintos espesores de junta (3, 6, 9 mm según el aplacado). Para simular el agua de lluvia emplean una regadera, un teléfono ducha, una manguera con dispersor y un vaporizador.

Los resultados de esta investigación se limitan únicamente a indicar si ha entrado poco agua y si ha entrado mucho agua, acompañado todo ello del sistema de simulación de lluvia empleado, en el que no se puede precisar la cantidad de agua proyectada, no ofreciendo un nuevo conocimiento del tema más allá del de indicar que existen algunos sistemas, en los que el propio diseño de las juntas o su perfilera compartida entre placas, dificulta la entrada de agua. Recomendando como otros autores, la ecualización de la cámara en el caso de fachadas con juntas abiertas.

La referencia a las juntas en las fachadas ventiladas se puede encontrar en distintos manuales comerciales y documentos de idoneidad técnica, pero en ninguno se hace referencia a las mismas en función de la entrada de agua que se produce por ellas, sino a aspectos técnicos de las mismas, como son las juntas estructurales, juntas de compresión, juntas de expansión y juntas de unión entre placas.

Según el Código técnico de la edificación, en el documento básico de salubridad CTE DB-HS 1 se marca la amplitud de la junta abierta en un espesor de 5 mm como uno de los métodos para garantizar la ventilación de la cámara con revestimientos discontinuos.

En 2011 el profesor J. Rivadulla indica en su tesis doctoral, *“Estudio transversal de la colonización biológica en fachadas ventiladas de granito en Galicia”*, a partir de un exhaustivo análisis de las fachadas ventiladas de granito, que las juntas de los edificios analizados están mal diseñadas y contribuyen a la colonización biológica. Expone a su vez que ninguno de los cantos de los aplacados de granito utilizados en los edificios analizados están estudiados para evitar las fuerzas que dirigen el agua al interior. En las conclusiones indica, que sería interesante utilizar aplacados ventilados de piedra con cámara sectorizada para que el agua que entrase por las juntas fuese mínima, recomendación que ya han realizado numerosos autores, aunque añade la propuesta de diseñar el canto de los aplacados :

“En todo caso se propone diseñar el canto de los aplacados de forma que se anulen las fuerzas de tensión superficial, capilaridad y ráfagas de viento que tratan de introducir agua a través de las juntas (canto a media madera, canto ranurado), así como evitar la deposición de partículas (cantos biselados)...”.

Su análisis está orientado al control de la colonización biológica, sin embargo, nos encontramos con una clara referencia a la importancia del diseño de las juntas para minimizar la entrada de agua en las fachadas ventiladas. A su vez se refiere únicamente a las juntas horizontales, siendo la referencia a las juntas verticales solo de aspecto constructivo, indicando también que no deben presentar discontinuidades que faciliten la aparición de ensuciamiento en la junta superior del aplacado situado en la hilada inferior.

Como se comentó anteriormente, la ecualización al 100% de la cámara es complicada estimándose que esta solución no es la más conveniente para evitar la entrada de agua, excepto en situaciones de edificios de gran altura y exentos. Así pues, se ve pertinente el estudio y cuantificación de la entrada de agua por las juntas de una fachada ventilada ya que las ventajas que presenta en cuanto a confort térmico y acústico son más favorables que las construcciones tradicionales más habituales hasta la aparición de la misma. Se trata por lo tanto de seguir estudiando este sistema e intentar mejorarlo aportando más luz en cuanto a la entrada de agua en las cámaras ventiladas.

Como hemos visto, las publicaciones científicas en fachadas ventiladas son bastante escasas, limitándose en su mayoría al análisis de soluciones constructivas, así como a la investigación sobre las características de los materiales empleados.

El punto más relevante, para esta investigación, común en todos los artículos consultados, se refiere a la recomendación de dejar las juntas abiertas para permitir la infiltración de agua en la cámara.

Igualmente cabe resaltar que existe poca bibliografía técnica orientada al estudio de la entrada de agua por las juntas abiertas de las fachadas ventiladas. Se ha comentado además, en este apartado, la investigación de Jaume Avellaneda como la única que ofrece porcentajes de infiltración de agua en juntas lisas y horizontales, aunque estudia solamente la junta horizontal lisa, relegando la junta vertical a un segundo plano, en el que indica que su función es de drenaje, pudiendo llegar a salpicar la cámara.

Respecto al diseño de la junta en relación a la cantidad de agua que se infiltra en la cámara, no se han encontrado estudios sobre el tema, salvo el artículo publicado por Joaquín Fernández Madrid y Felipe García Bescansa en el año 2014 *“Entrada de agua en aplacados ventilados de piedra”*, en el cual se compara la cantidad de agua infiltrada por las juntas entre placas con cantos rectos, frente a placas con cantos mejorados, bien acanalados, biselados o rebajados. Estudio que se centra en la junta horizontal y que, como se ha descrito en la introducción, es parte de la investigación paralela a esta.

En cuanto a la incidencia de la junta vertical en la infiltración de agua en la cámara de una fachada ventilada, únicamente se ha localizado el artículo escrito por Platts, R.E. Y Sasaki, J.R. *“Rain Leakage Test on Vertical Through-Joints”* publicado en 1965. La investigación se centra en el estudio de las diferencias de presión que se producen en el interior de la cámara y a través de la junta vertical según su diseño y amplitud. También esquematiza el recorrido del agua a través de la junta vertical, con diferentes presiones de aire, según el diseño de la misma y los elementos que se ubican en su eje. Realiza a su vez un chequeo sobre distintos diseños de junta vertical y cómo el aire y la lluvia penetran por la misma. Sin embargo este estudio se refiere únicamente a paneles prefabricados y no cuantifica la infiltración de agua.

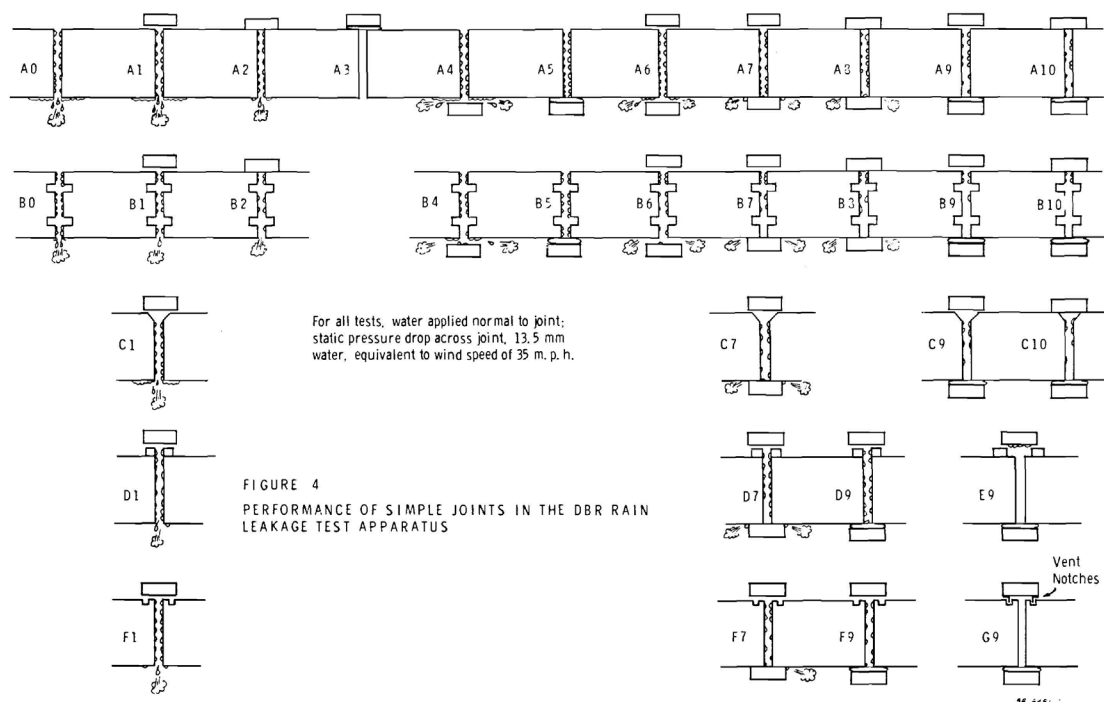


Figura 2.6 Esquema del comportamiento de juntas verticales en el DBR .Platts, R.E. Y Sasaki, J.R.

Por lo tanto, se ve pertinente cuantificar la cantidad de agua que entra a través de las juntas de una fachada ventilada de piedra, y bajo qué condiciones, ya que no se ha encontrado en la literatura científica y técnica datos fidedignos al respecto. Entendemos importante llenar este vacío, con datos objetivos basados en estudios que demuestren como se comportan los aplacados de piedra de una fachada ventilada frente a la infiltración de agua a través de sus juntas verticales y horizontales.

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La fachada ventilada constituye una de las tipologías de cerramientos más utilizados en la actualidad, debido a sus prestaciones de confort y libertad de diseño arquitectónico.

Teniendo en cuenta que hasta ahora, no se conocen estudios exhaustivos que analicen y cuantifiquen la infiltración de agua en la cámara de una fachada ventilada, se propone como objetivo en esta tesis, el estudio y evaluación de la entrada de agua en la cámara ventilada de la fachada de piedra según los criterios de diseño de la misma.

Para ello, partiremos del trabajo realizado con anterioridad en el año 2010, para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados (DEA), donde se estudiaba la infiltración de agua por una junta horizontal de 1m² de fachada. En el mismo, se concluía que la entrada de agua por la junta de una fachada trasventilada, está condicionada principalmente por el grado de confinamiento de la cámara, ya que los datos más favorables se obtienen en aquellos supuestos en los que la fachada se encuentra confinada, siendo la junta de 5 mm la que permite menor infiltración de agua. A su vez, se concluía que en una fachada ventilada con la cámara sin confinar, a través de la junta horizontal, se infiltra prácticamente la misma cantidad de agua en las amplitudes de junta de 5, 7,5 y 10 mm, siendo la diferencia inferior a un litro de agua.

La investigación realizada en el año 2010, se limitaba el estudio de la junta horizontal lisa en tres amplitudes (5, 7,5 y 10 mm), por lo que surgió la necesidad de ampliarla y llevar a cabo esta nueva investigación, que debido a su envergadura y al ingente trabajo de laboratorio necesario, se dividió en dos grandes bloques.

Uno de los bloques, desarrollado por D. Felipe García Bescansa, se centra en el estudio de la incidencia del diseño de la junta horizontal, y su amplitud en 1m² de fachada, abarcando además su combinación con la junta vertical lisa.

En un segundo bloque, se desarrolla paralelamente el objeto de esta tesis, que comprende el estudio de la junta vertical de una fachada ventilada en función de su diseño y su amplitud, la cual se combinará posteriormente con la junta horizontal lisa.

Los objetivos de esta tesis son por lo tanto los siguientes:

1. Determinar si el diseño de junta vertical y amplitud de la misma incide en la cantidad de agua que se infiltra en la cámara de aire de una fachada ventilada.
2. Determinar si el diseño de junta vertical combinada con la junta horizontal lisa y la amplitud de las mismas, incide en la cantidad de agua que se infiltra en la cámara de aire de una fachada ventilada.
3. Objetivar y proponer el diseño óptimo para la utilización de este sistema

constructivo.

Se trata pues de recoger, cuál es el mejor modelo de junta para el diseño de una fachada ventilada, así como facilitar la elección de la misma según el diseño que se quiera mostrar en fachada como imagen exterior del edificio.

Para abordar el estudio, se han definido tres tipos de juntas verticales (lisa, acanalada y rebajada) y elegido a su vez tres amplitudes de la misma por considerar que son las más usuales (5, 7,5 y 10 mm).

Se elige como material de la fachada ventilada la piedra, debido a la posibilidad que ofrece su diseño de junta. Los aplacados de piedra de fachada ventilada suelen ser de 30 a 40 mm de espesor, lo que nos permite actuar en ellos y servirnos de las tipologías antes descritas.

Para conseguir los objetivos citados, se debe realizar por lo tanto el estudio y análisis de una fachada ventilada con acabado de piedra como sistema constructivo y la observación y cuantificación de la entrada de agua en la cámara de aire y su relación según los siguientes parámetros :

- a) La amplitud de la junta.
- b) El diseño de la junta vertical.
- c) El grado de confinamiento de la cámara de aire.
- d) La incidencia de la presión de aire.

Hasta aquí, se han indicado los objetivos marcados por esta tesis. En el capítulo siguiente se desarrollará la metodología empleada para llevarlo a cabo.

4. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

En el capítulo anterior se establecieron los objetivos de la investigación, premisa de la metodología que a continuación se describe.

Como objetivo general, se especificó cuantificar la entrada de agua en la cámara, a través de las juntas de una fachada ventilada de piedra, correspondiendo a esta investigación la parte relativa al estudio de la incidencia del diseño de las juntas verticales y a la amplitud de las mismas, en la infiltración de agua en la cámara así como su posterior combinación con juntas horizontales lisas. Para ello definimos tres diseños de junta vertical, lisa, acanalada y rebajada y tres amplitudes de las mismas, 5, 7,5 y 10 mm.

Es necesario señalar que las amplitudes de junta de menos de 5 mm, son extremadamente complicadas de ejecutar a nivel constructivo, debido principalmente a los límites que imponen las dilataciones de los materiales.

Sin embargo, por encima de los 10 mm, existen investigaciones (Avellaneda 1999) que indican que la cantidad de agua infiltrada es muy abundante, aunque nunca se ha cuantificado. Así pues, se han establecido estos espesores como límites, eligiendo un espesor intermedio de 7,5 mm, para obtener datos que puedan dar lugar a la explicación del hecho constatado en cuanto a la introducción del agua por la junta.

Se busca por lo tanto, estudiar la entrada de agua por juntas verticales únicamente para poder a continuación discriminar este dato y comprobar la incidencia de las mismas en los despieces de los aplacados.

Así pues, la parte más importante de esta investigación radica en la simulación de una fachada ventilada real que se pueda someter a las acciones de lluvia y viento para ofrecernos datos fiables acerca del agua que se infiltra en la cámara.

Para ello, debemos definir las situaciones a las que está expuesta una fachada ventilada y simularlas en los ensayos a realizar. Según investigaciones anteriores (ver estado del arte) podemos afirmar que el motivo de entrada de agua por las juntas, se produce principalmente por tensión superficial, diferencias de presión y energía cinética de la gota de lluvia. Por lo tanto, es necesario simular la acción de la lluvia en presencia de viento y sin él.

Nuestro objetivo, es discriminar la entrada de agua por las juntas de una fachada ventilada, en función del diseño y amplitud de la misma, observando en cada tipo que fuerzas actúan para poder sistematizar y elegir el diseño más apropiado para cada situación o edificación expuesta.

Esta investigación se divide a su vez en dos partes:

Infiltración de agua por juntas verticales de una fachada ventilada

En primer lugar será necesario diseñar, para su posterior ejecución, un prototipo de fachada ventilada de un metro cuadrado que esté conformado por aplacados de piedra que presenten únicamente junta vertical. Este prototipo deberá permitir a su vez, la modificación de la amplitud de junta para ensayar y comparar los tres espesores planteados en los objetivos, 5, 7,5 y 10 mm. Igualmente el prototipo deberá permitir modificar el grado de confinamiento de la cámara de aire. Se denominará prototipo de fachada ventilada 1.

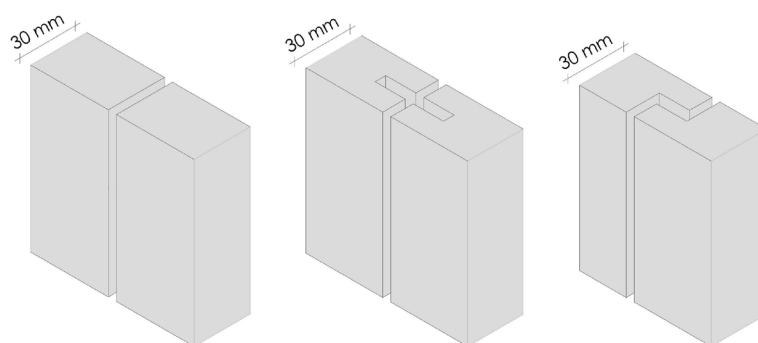


Figura 4.1. Diseños de junta vertical, lisa, acanalada y rebajada.

Una vez diseñado el prototipo 1 para fachada ventilada con junta vertical se ubicarán en él los aplacados de junta vertical lisa, para posteriormente, una vez finalizados los ensayos propuestos para el mismo, proceder a modificar el diseño de la junta vertical y de los aplacados y continuar el procedimiento de ensayo. Esta acción se repite para cada diseño de junta vertical y para cada amplitud de la misma.

Infiltración de agua por con juntas verticales y horizontales de una fachada ventilada

Una vez terminados los ensayos de los distintos diseños de junta vertical se abordará la siguiente fase de la investigación, consistente en la obtención de datos de infiltración de agua a través de las juntas verticales según diseño y juntas horizontales lisas de una fachada ventilada de piedra. Para ello, será necesario realizar una modificación en el diseño del prototipo anterior, que se adapte a esta nueva tipología de juntas horizontales y verticales combinadas. La misma se realizará de nuevo en el laboratorio del CITEEC. Se denominará prototipo de fachada ventilada 2.

Se procederá a su vez, al montaje de las piedras en el prototipo 2 y a su paulatina sustitución y modificación de los cantos verticales de las mismas, según se vayan realizando los ensayos tipo de cada diseño y amplitud de junta.

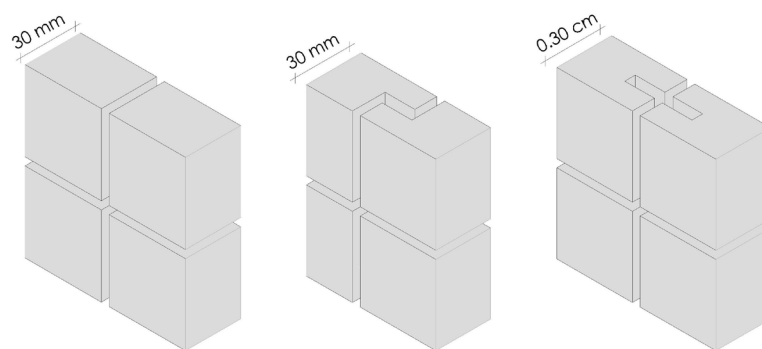


Figura 4.2 Imagen de los distintos diseños de junta vertical, lisa, acanalada y rebajada combinados con junta horizontal lisa.

Una vez diseñado y ejecutado el prototipo en cuestión, será necesario someterlo a la acción de la lluvia, que a su vez se combinará con diferentes presiones de viento o la ausencia del mismo, para simular las condiciones atmosféricas a las que puede estar expuesta dicha fachada ventilada. Para ello, nos serviremos de las instalaciones existentes en la Universidad de A Coruña en el edificio del CITEEC (Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil). En su planta sótano se encuentra el laboratorio de hidráulica que dispone de un banco de pruebas que cumple con los requisitos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Aplicando su experiencia en diversos campos de investigación, el CITEEC ha puesto en marcha el laboratorio de ensayos A-E-V, cuya independencia y objetividad están avaladas por la Universidad de A Coruña. El Banco de pruebas está fabricado para cumplir con las exigencias de las Normas Europeas, que junto con el personal especializado que lo opera garantizan la rigurosidad de los resultados. La automatización de los ensayos de permeabilidad al aire, estanqueidad al agua y resistencia al viento, aporta al banco de pruebas un alto grado de precisión en la aplicación de las normas UNE. Está equipado a su vez con un sistema informático de adquisición de datos, logrando así un importante grado de exactitud en la obtención de los mismos. Igualmente, el vidrio laminado sobre el que se instalan las muestras, permite observar el funcionamiento de los desagües durante el ensayo.



Figura 4.3 Imagen general del laboratorio de hidráulica e imagen del banco de pruebas A-E-V en el CITEEC.

El dispositivo está preparado para cumplir las disposiciones de las siguientes normas:

- Estanqueidad al agua, normas UNE-EN 1027, UNE-EN 12208, UNE-EN 12155, UNE-EN 12154. Estudio de la capacidad de una puerta, ventana o fachada para oponerse a las infiltraciones de agua.
- Resistencia a la carga de viento, normas UNE-EN 12211, UNE-EN 12210, UNE-EN 12179, UNE-EN 13116. Verificación de que la ventana, puerta o fachada completa tiene una deformación admisible, conserva sus propiedades y garantiza la seguridad a usuarios.
- Permeabilidad al aire, normas UNE-EN 1026, UNE-EN 12207, UNE-EN 12153, UNE-EN 12152. Estudio de la capacidad de una puerta, ventana o fachada para oponerse a las infiltraciones de aire.

Para realizar la investigación, ha sido necesario disponer el sistema del banco de pruebas en modalidad de ensayo de estanqueidad al agua y permeabilidad al aire.

Las normas indicadas anteriormente, como referencia para la realización de los ensayos de esta investigación, definen desde las condiciones de rociado de agua y la posición que deben mantener las boquillas, hasta el procedimiento de ensayo, sin olvidar regular el caudal de las boquillas. Nos indican igualmente, los escalones de presión de aire a aplicar sobre las piedras.

Los ensayos seguirán las siguientes pautas:

- El prototipo se someterá únicamente a la fase de rociado durante un tiempo de 10 minutos, con presión de ensayo de 0 Pa, realizándose específicamente para cada diseño de junta y amplitud de la misma en dos condiciones, con cámara ecualizada y con cámara sin ecualizar.
- El prototipo se someterá igualmente a la fase de rociado durante un tiempo de 24 minutos, en el que se aplicará la presión de ensayo en escalones de 50 Pa hasta 300 Pa y a partir de 300 Pa en escalones de 150 Pa, el tiempo de aplicación de cada escalón será de 3 minutos. Se realizan específicamente para cada diseño de junta y amplitud de la misma teniendo en cuenta dos condiciones, cámara ecualizada y cámara sin ecualizar.

Podremos de este modo, recrear con más fiabilidad las condiciones atmosféricas a las que se puede enfrentar una fachada ventilada.

En investigaciones anteriores (DEA 2010), se dispusieron en la parte superior del armazón que rodea y contiene la fachada a ensayar, unos sensores conectados al equipo informático, que recogían datos de la presión que había en el interior de la cámara de aire de la fachada y del exterior, respectivamente, lo que a posteriori permitía comprobar que los distintos tipos de ensayo se habían ejecutado conforme a los condiciones definidas en cada uno de ellos. En esta investigación, sin embargo, se ha descartado esta medida, debido a que los datos obtenidos anteriormente nos dan fiabilidad sobre los nuevos ensayos, no siendo necesario este control.

Así pues, los pasos a seguir, serán los mismos para los dos despieces de fachada ventilada a estudiar, aplacados dispuestos con juntas verticales y aplacados dispuestos con juntas verticales y horizontales, que se describen a continuación:

- Diseño de los prototipos de fachada ventilada de aplacados de piedra.
- Montaje en banco de pruebas del laboratorio.
- Ensayos en banco de prueba según premisas establecidas, cámara ecualizada y cámara sin ecualización, ambas con sobrepresión y a presión atmosférica.
- Toma de datos.
- Análisis y comparación de los mismos.

Una vez finalizados y analizados los resultados obtenidos en los 72 ensayos tipo surgidos de las propuestas planteadas, se redactarán las conclusiones obtenidas de los datos que cada conjunto de ensayos tipo nos aportan. Los ensayos tipo permitirán igualmente la extrapolación y comparación de datos en función del agua recogida en la cámara de la fachada ventilada.

A continuación se realizará, un **ensayo mejorado**, correspondiente al mejor diseño de junta vertical y junta horizontal, para verificar la infiltración de agua por sus juntas y comprobar si es el diseño más óptimo de los ensayados.

Una vez obtenidos los resultados, se analizarán y compararán, para concluir el tipo de junta más recomendable en una fachada ventilada de piedra, según la composición que se quiera ofrecer en la fachada exterior y en el conjunto edificatorio.

De esta forma, podremos conocer el tipo de junta más efectivo o recomendable a disponer en un edificio construido con fachada trasventilada de juntas únicamente verticales o con juntas verticales y horizontales.

4.1 ESTRUCTURA Y CONTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación se divide en 6 capítulos, bibliografía y anexos de datos.

En el **capítulo 1**, introducción a la tesis, se explica el motivo de la investigación, las premisas y su objetivo.

En el **capítulo 2**, el estado de la cuestión, se plantea el contexto del estudio, a través del análisis de las distintas publicaciones sobre la entrada de agua en las fachadas ventiladas, concretando en su parte final la concordancia de las mismas en relación a la entrada de agua a través de las juntas de una fachada ventilada.

En el **capítulo 3**, objeto de la tesis, se plantean los objetivos de la tesis y su finalidad.

En el **capítulo 4**, metodología del trabajo, se desarrolla la metodología a seguir para llevar a cabo los objetivos planteados, explicando el procedimiento realizado para el diseño de la investigación

El **capítulo 5**, desarrollo del trabajo, se divide a su vez en varios puntos:

- Descripción del proceso de diseño y montaje de los elementos que conforman el prototipo base para realizar la investigación en el laboratorio.
- Descripción de las observaciones realizadas durante los ensayos en laboratorio.
- Análisis de los resultados obtenidos de la toma de datos de los ensayos realizados.
- Comparación de los distintos planteamientos y análisis de los mismos.

En el **capítulo 6**, conclusiones, se resumen y analizan los resultados obtenidos en las distintas fases del trabajo de la investigación, emitiendo las conclusiones generales y la aportación de la investigación. Finalmente se traza un panorama de los temas que quedan abiertos para futuras líneas de investigación.

Se adjunta finalmente, la bibliografía de referencia e índice de figuras y tablas.

5. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO DE FACHADA

Para llevar a cabo la investigación, ha sido necesario diseñar un dispositivo que pudiera ser ensayado en laboratorio, y que reprodujese el comportamiento de una fachada ventilada de aplacado de piedra de 3 cm de espesor, con una superficie expuesta de un metro cuadrado.

Partiendo de la base del prototipo anterior (DEA 2010), se rediseñó la parte interior del cajón de madera, en el que se ubicaba un modelo de fachada ventilada con junta horizontal, adaptándolo a una fachada ventilada con únicamente junta vertical. Posteriormente se rediseñó de nuevo el mismo, para simular una fachada ventilada con juntas horizontales y verticales combinadas.

DISEÑO PROTOTIPO DE FACHADA VENTILADA 1

Describo a continuación, todo el proceso de diseño del primer prototipo, que busca obtener una fachada ventilada de piedra, cuyas juntas únicamente verticales sean de 1 m de alto y su superficie de aproximadamente un metro cuadrado, y así poder realizar la extrapolación de datos por metro cuadrado de fachada.

Después de realizar varios croquis de aproximación para el diseño del dispositivo, se rastrearón en el mercado, piezas existentes que se ajustasen a las medidas y tamaños necesarios para ejecutar el prototipo, según nuestras exigencias.

El dispositivo se podría construir únicamente con una junta vertical, pero debido a la disposición de las boquillas que proyectan el agua, en el banco de pruebas del CITEEC, se han dispuesto dos juntas verticales de forma que ninguna esté enfrentada a la proyección de agua.

A continuación se dibuja el plano de diseño del prototipo de juntas verticales a escala, utilizado para el montaje en laboratorio, y después se desglosarán y definirán las piezas necesarias para la realización y montaje del mismo.

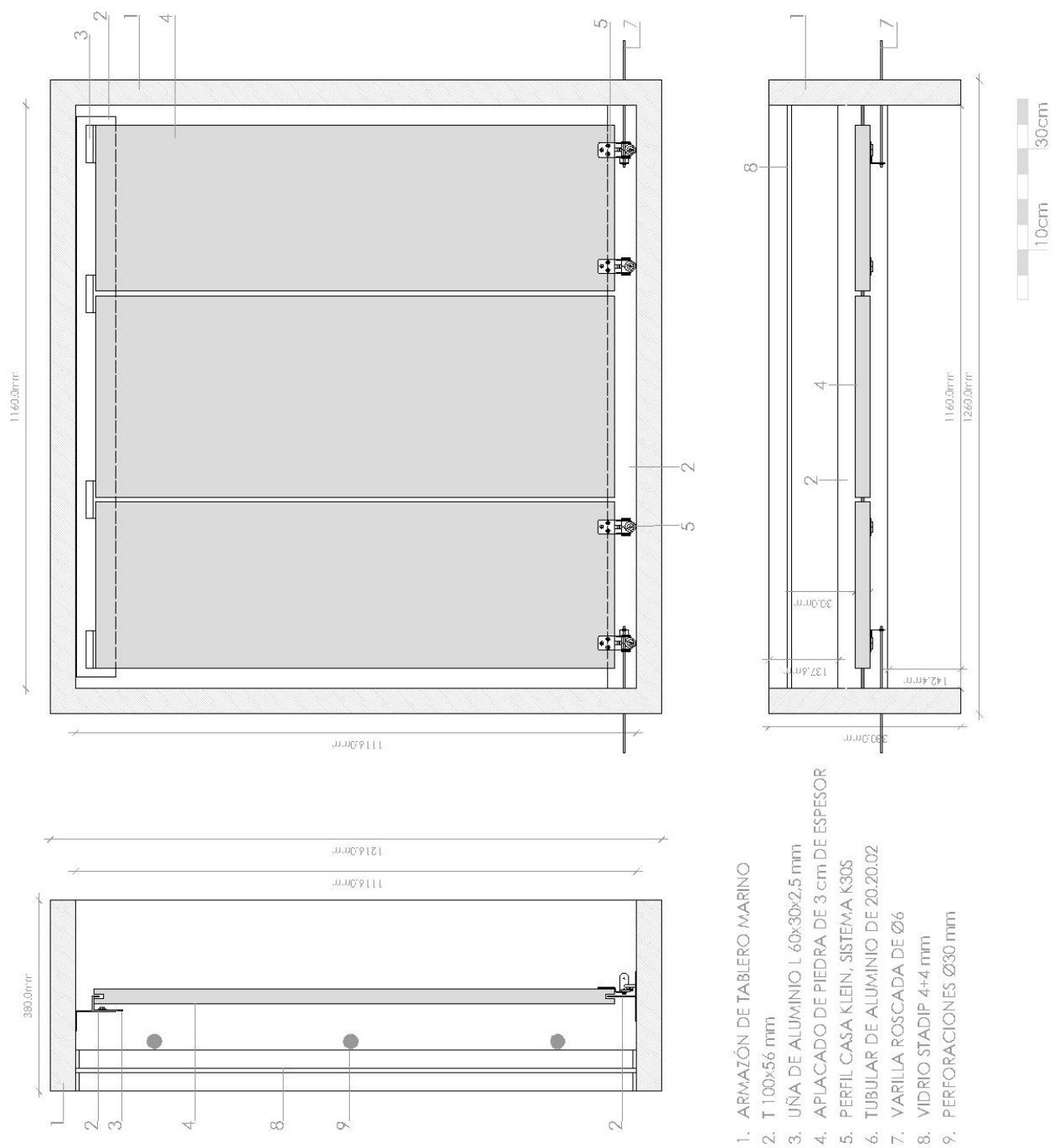


Figura 5.1.1 Prototipo de fachada ventilada 1

Como observamos en el plano, el conjunto del prototipo está formado por:

- **Armazón de tablero marino:** Cajón de cuatro lados de dimensiones 1.160 x 1.116 x 380 mm, y espesor de 30 mm, donde se realiza el montaje de la fachada.
- **Montantes horizontales:** 2 ud. Piezas de aluminio en 'T' de 100 x 56 mm y altura 1.156 mm.
- **Anclajes superiores de piedras:** 2 ud. Uña de aluminio en forma de L de 2,5 mm de espesor y dimensiones 60 x 30 mm, con una pestaña de 1,2 mm para evitar el vuelco de la piedra.
- **Losas de piedra:** 2 ud. 1031,20 x 330 mm y 1ud 1031,20 x 400 mm. En los cantos superiores e inferiores de las piedras, se practica una ranura continua de una profundidad de 15 mm, y espesor de la hoja de la radial que las corta (2 mm).

Se trata pues, de losas de piedra granítica, que conforman la parte exterior de la fachada y que estarán en contacto directo en su parte apomazada con la proyección de los chorros de agua y de aire en el momento del ensayo. Las dimensiones de las mismas obedecen a criterios de diseño según la situación de los aspersores de agua, estando los mismos situados cada 40 cm en una barra horizontal y sumando un total de tres. Se disponen de tal modo que la proyección de los chorros de agua es uniforme y no se aplica directamente sobre la junta de las piezas de piedra que componen la fachada.

- **Sistema de rodadura:** 6 ud. Perfilera de la casa Klein, sistema K30S para puertas correderas de armarios. Este sistema se utiliza de forma inversa, como apoyo permitiendo su movimiento, una vez comprobada su resistencia al peso de la piedra.

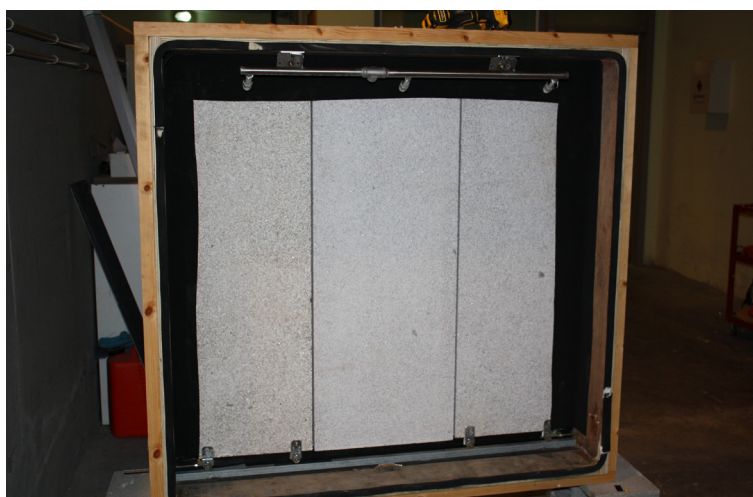


Figura 5.1.1 Imagen de la línea de boquillas que condiciona la ubicación de la junta vertical.

El mecanismo para ampliar la junta vertical de las piedras inferiores consiste en adherir, mediante sikaflex 11FC, el sistema manipulado para puertas correderas de Klein al que se le añade una L de dimensiones 50 x 50 mm y a la cual se le ancla a su vez, mediante tuercas, una varilla que atraviesa el lateral del cajón de tablero marino, permitiendo mediante una palometa, mover las piedras apoyadas en el sistema de ruedas.

- **Tubular horizontal:** 1 ud. Tubular de aluminio 20.20.02 para apoyo de ruedas que permiten el movimiento de las piedras en su eje trasversal.
- **Varilla roscada:** 2 ud. De Ø6 mm, conectada con tornillos a las ruedas klein. Se ha optado por esta solución mecanizada para la regulación de la holgura de la junta vertical, aumentándola o disminuyéndola al accionar las palomillas de remate en la parte exterior de la varilla.
- **Vidrio:** Vidrio tipo Stadip de 4 + 4 mm, transparente, colocado en la parte donde se situaría la hoja interior de la fachada ventilada, para facilitar la visión durante el ensayo.
- **EPDM :** Con el fin de garantizar que el paso del agua a la cámara se realice únicamente a través de la junta vertical, se ha sellado el perímetro de los aplacados con cinta de EPDM adhesivo.
- **Perforaciones:** Se realizan tres de Ø 30 mm en cada lado del armazón de madera, para conseguir las condiciones planteadas de confinamiento de cámara para cada tipo de ensayo. De igual modo, se realizan dos más en las caras laterales del armazón de Ø6 mm para pasar las varillas roscadas (una en cada lateral). Y por último las dos inferiores para la evacuación del agua sobrante y la recogida en cámara, respectivamente.

Como ya se ha comentado, la siguiente fase de la investigación comprende el estudio de la infiltración de agua a través de las juntas de una fachada ventilada con juntas horizontales y verticales. Se simula de nuevo un metro cuadrado de fachada de forma que se modifica el prototipo una vez más.

DISEÑO PROTOTIPO DE FACHADA VENTILADA 2

Se describen a continuación las modificaciones que se deben realizar al prototipo, para conseguir que la fachada ventilada se conforme mediante aplacados con juntas verticales y horizontales a la vez. Resultando como diseño del prototipo de fachada ventilada 2 la siguiente configuración:

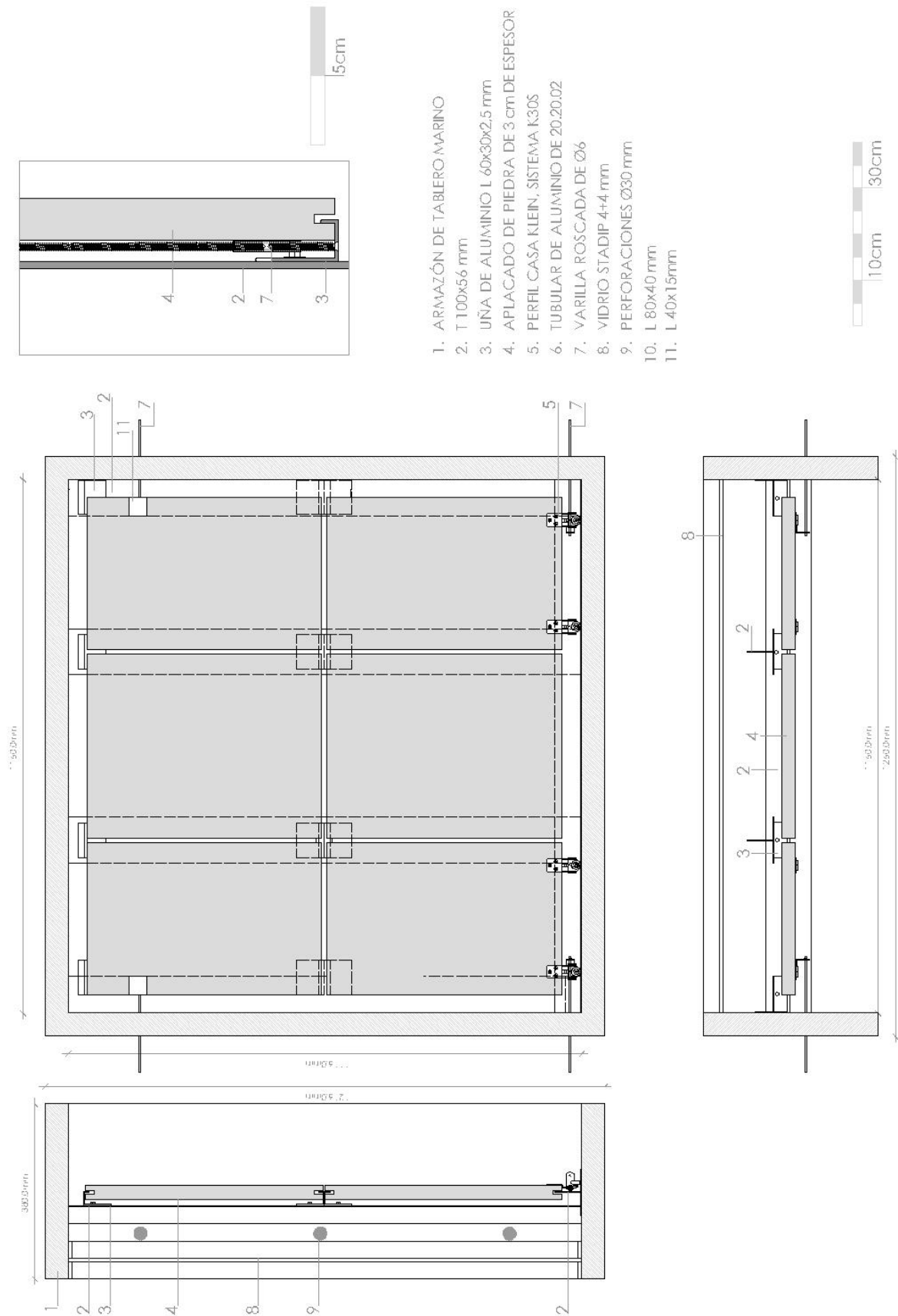


Figura 5.1.1 Prototipo de fachada ventilada 2

Como se puede observar, se ubican cuatro montantes verticales, dos en L en los laterales y dos en T en el centro, para atornillar en ellos los anclajes en uña ocultos, que sujetan las piedras superiores por la acanaladura puntual practicada en su parte inferior, permitiendo a su vez su movimiento y ampliando el tamaño de junta horizontal, a través de una varilla roscada anclada a los mismos. Otros ocho uñeros se colocan para sujetar las piedras inferiores y superiores ante el vuelco.

- **Montantes verticales laterales:** 2 ud. Piezas de aluminio en L de 80 x 40 mm y altura 1.112 mm.
- **Montantes verticales centrales:** 2 ud. Piezas de aluminio en T de 100 x 56 mm y altura 1.112 mm.
- **Anclajes superiores de piedras inferiores y superiores:** 8 ud. Uña de aluminio en forma de L de 2,5 mm de espesor y dimensiones 60 x 30 mm, con una pestaña para evitar el vuelco de la piedra de 1,2 mm.
- **Anclajes inferiores de piedras superiores:** 4 ud. Uña de aluminio en forma de L de 2,5 mm de espesor y dimensiones 60 x 30 mm, en la que se practica una perforación para insertar por su cara inferior un tornillo de cabeza avellanada, para poder atornillar la varilla roscada y graduar la junta horizontal.
- **Varilla roscada vertical:** 2 ud. De Ø 6 mm, conectada con tornillo de cabeza avellanada por la parte inferior de la uña de anclaje, al que se une por medio de un casquillo cilíndrico. Se ha optado por esta solución mecanizada, para la regulación de la holgura de la junta horizontal, aumentándola o disminuyéndola al accionar las palomillas de remate en la parte superior de la varilla.
- **Varilla roscada lateral:** 2 ud. De Ø 6 mm, conectada con tuercas a un perfil en L de dimensiones 15 x 30 mm, que se pega a las piedras laterales superiores. Se ha optado por esta solución mecanizada para la regulación de la holgura de la junta vertical, aumentándola o disminuyéndola al accionar las palomillas de remate en la parte exterior de la varilla.

El mecanismo para ampliar la junta vertical de las piedras inferiores, es el mismo que el empleado en el anterior prototipo, así pues, se adhiere mediante sikaflex 11FC a las piedras, el sistema manipulado para puertas correderas de Klein al que se le añade una L de dimensiones 50 x 50 mm y a la cual a su vez, se le ancla mediante tuercas una varilla que sale por el lateral del cajón permitiendo mediante una palometa mover las piedras apoyadas en el sistema de ruedas.

5.2. MONTAJE DEL PROTOTIPO DE FACHADA

Como ya se ha comentado en la metodología descrita en el apartado 4, anteriormente a la realización de los distintos ensayos, fue necesario el montaje de un prototipo de fachada ventilada que se situó en el banco de pruebas del laboratorio Hidráulico del CITEEC. Debido a la existencia del prototipo anterior, el cajón de madera que conformaba el armazón que soportaba la simulación de fachada ventilada se encontraba ya en el laboratorio.

Tras el diseño del prototipo se adquirieron las distintas piezas que lo configuraron y se trasladaron al laboratorio para su montaje, aprovechando de esta forma parte del prototipo anterior.

MONTAJE DE PROTOTIPO DE FACHADA VENTILADA 1

Se procedió al desmontaje de las piezas sobrantes del prototipo existente y a la fijación de los nuevos perfiles para transformarlo en una fachada ventilada de juntas verticales. El vidrio y el sellado realizados en el año 2010, no se modificaron. El vidrio equivale a la hoja interior de la cámara de aire, quedando de esta forma la cámara estanca, salvo por el orificio practicado en su parte inferior, con objeto de desaguar y medir así la cantidad de agua evacuada.

Se sustituye a su vez el perfil en T, ubicado en horizontal en la parte superior del cajón, por un perfil en L de dimensiones 80 x 40 mm al que se atornillan las cuñas que se introducirán en la ranura superior de las piedras para evitar su vuelco.



Figura 5.2.1 Imagen de la piedra con el perfil en L superior al que se le atornillan las uñas para evitar su vuelco.

Figura 5.2.2 Imagen del perfil en L superior al que se le atornillan las uñas para evitar el vuelco de la piedra.



Figura 5.2.3 Imagen del perfil en T invertido situado en la base del prototipo y de los tubulares de apoyo de las ruedas.

El perfil en T colocado invertido y en horizontal en la base del cajón, se mantiene como elemento que marca la línea divisoria entre el exterior de la fachada e interior de la cámara ventilada. Así pues, se mantiene en su posición en todos los prototipos realizados, ya que marcan la posición correcta del eje de las piedras. De esta forma se garantiza que exista la misma distancia al chorro de agua proyectado por los aspersores en todos los ensayos realizados.

En las alas de la T invertida, se colocan unos perfiles tubulares de dimensiones 40 x 40 mm que se usan como elemento de elevación y como carril de las ruedas y que a su vez dan unidad a las piedras y nos permiten ampliar o disminuir la junta vertical (5, 7,5 y 10 mm).

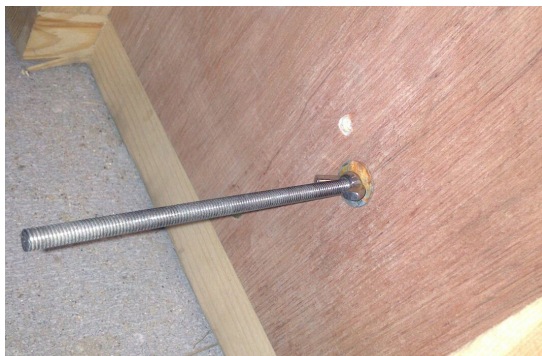


Figura 5.2.4 Imagen de la varilla roscada situada en los laterales del cajón.

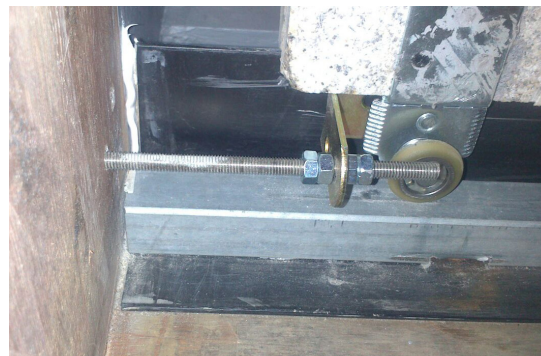


Figura 5.2.5 Imagen de la unión de la varilla roscada a las ruedas adheridas a las piedras.

Igualmente, se practican los orificios en los laterales del cajón de tablero marino, permitiéndonos introducir la varilla roscada que se une a las ruedas y consiguiendo ampliar la junta vertical sin desmontar el prototipo del banco de pruebas.

A continuación, se le aplican dos capas de revestimiento elástico con fibras en la parte de la cámara de aire, para garantizar la estanqueidad de la misma y que todo el agua que penetra en ella se evacúe por el orificio practicado en la base del cajón.



Figura 5.2.6 Imagen de la imprimación de sikafill en la cámara de aire.

Figura 5.2.7 Imagen del orificio practicado en la cámara para el vaciado del agua que se infiltre en la misma.



Figura 5.2.8 Imagen del sellado con silicona de los encuentros entre perfilaría y cajón de madera.



Figura 5.2.9 Imágenes del orificio lateral del cajón de tablero marino que permite regular el grado de confinamiento de la cámara.

Una vez impermeabilizado el perímetro de la cámara, se sellan de nuevo con silicona blanca los encuentros de la subestructura metálica con el cajón de madera, para evitar posibles filtraciones cuando se proceda a la proyección de agua y viento.

Posteriormente, una vez realizados los orificios necesarios para poder ventilar la cámara por los laterales, se tapan con cinta americana en los ensayos en los que la cámara se encuentra ecualizada.

A continuación se procede a la colocación de las piedras, en el eje del perfil en T invertido, situado en la base del cajón, a la vez que se ubica cada aplacado vertical encajando la acanaladura practicada en el canto inferior de la misma. De igual forma, se sitúa la uña superior atornillada al perfil en L, en las ranuras practicadas en su canto superior para evitar el vuelco.

Este procedimiento se realiza escalonadamente, en primer lugar se sitúa la piedra central que se mantiene fija durante los ensayos y a partir de la cual se referencian las amplitudes de junta estipuladas (5, 7,5 y 10 mm). Seguidamente, se colocan las piedras laterales con las ruedas ya pegadas y finalmente, se introducen las varillas laterales que se unen al sistema de ruedas de Klein mediante una L bloqueando la unión para garantizar el movimiento de las ruedas al girar la palometa exterior.

Para verificar el correcto desplazamiento de las piedras y que la junta vertical tenga la amplitud deseada en cada ensayo, se calcula el número de vueltas que es necesario efectuar para moverlas los 2,5 mm ó 5 mm, ya que parte de la posición de junta de 5 mm. A su vez se mide, como testigos a mayores, la longitud de varilla saliente y se observa, con la regla en el perfil en T invertido, la línea que efectúa la arista de la piedra fija y la arista de la piedra lateral.

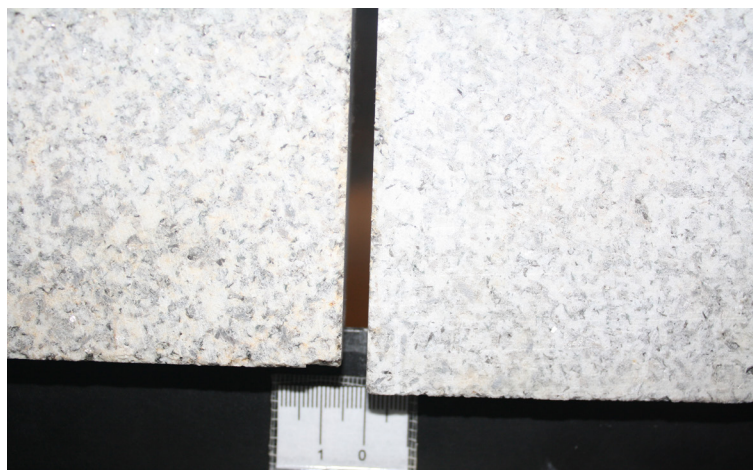


Figura 5.2.10 Regla pegada al perfil en T invertido.

Nos queda así únicamente, sellar toda la parte frontal expuesta al agua para impedir cualquier imprecisión. Para ello se decide adherir una lámina de EPDM en el perímetro exterior de la piedra, al igual que se adhiere en los cantos del cajón para fijar este contra el cristal del banco de pruebas.

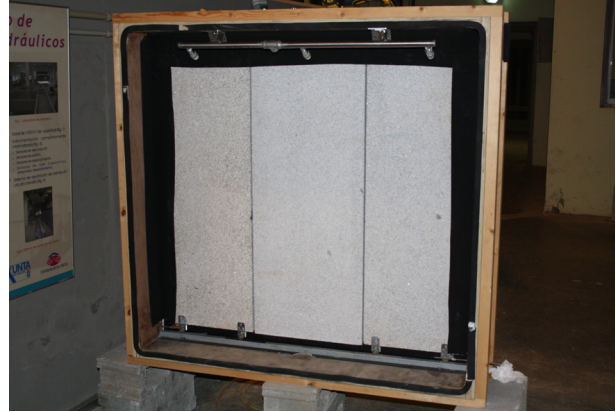


Figura 5.2.11 Imagen del centrado de la línea de boquillas.

Figura 5.2.12 Imagen del EPDM pegado.

Una vez ubicadas las piedras en su posición con juntas verticales de 5 mm y pegado el EPDM, se procede a colocar la línea de boquillas, la cual debe estar perfectamente centrada para garantizar que cada una de las tres boquillas proyecta el agua en el eje central de cada aplacado.

Debido al desconocimiento del agua a evacuar, hubo de preverse el uso de un sifón simulado con un tubo flexible de plástico, el cual encajó en el orificio practicado a la cámara de aire con este objeto. Se preparó finalmente un bote para la recogida del agua sobrante.

De esta forma el dispositivo está listo para su colocación en el banco de pruebas del laboratorio del CITEEC, preparándose a continuación el mecanismo para realizar el ensayo en las condiciones que se especifican al finalizar este capítulo.

Modificación del diseño de junta vertical en prototipo de fachada ventilada 1.

Cabe señalar, que cada vez que se finaliza un ensayo de junta vertical, es necesario sustituir las piedras por otras con la junta modificada según los diseños planteados, lisa, acanalada y rebajada. Por lo tanto cada vez que se finalizan los ensayos tipo de un diseño de junta, se deben llevar las piedras a la fábrica de granitos para su modificación en consecuencia.



Figura 5.2.13 Imagen de procedimiento de corte de piedras en taller.

MONTAJE DE PROTOTIPO DE FACHADA VENTILADA 2

Una vez terminados los ensayos de junta vertical y para realizar la siguiente fase de la investigación fue necesario reajustar el dispositivo 1 y transformarlo en lo que hemos denominado prototipo de fachada ventilada 2, para ensayar a su vez una fachada ventilada de piedra combinada con juntas horizontales y verticales.



Figura 5.2.14 Imagen de la uña y la varilla roscada que permite elevar la piedra.



Figura 5.2.15 Imagen de la uña superior que evita el vuelco de la piedra.

En primer lugar, se desmonta la L dispuesta en horizontal en la parte superior del cajón. A continuación se colocan en posición vertical los perfiles tipo L en los laterales y los perfiles tipo T en los ejes centrales, para anclarles a su vez las uñas que evitan el vuelco de piedras inferiores y superiores y las uñas que soportan y permiten desplazar hacia arriba las piedras superiores y así ampliar el tamaño de la junta.



Figura 5.2.16 Imagen del sistema de rodamiento de las piedras laterales inferiores.

De esta forma, se coloca en primer lugar la piedra central inferior que permanece fija y que será el referente desde el que se amplíen las juntas verticales y horizontales. Se encaja, mediante una acanaladura practicada en su canto inferior en el perfil en T inferior, ubicado en la base del prototipo. A continuación, se colocan las piedra laterales inferiores que mantienen el sistema de ruedas del prototipo 1 para poder desplazarlas y modificar la amplitud de la junta vertical.



Figura 5.2.17 Imagen de la piedra central superior colocada en la uña con la varilla roscada que permite elevarla.



Figura 5.2.18 Imagen de los perfiles en L y T en sentido vertical para anclar las uñas, con varios aplacados de piedra ya colocados.

El siguiente paso es colocar las piedras superiores, la primera es la central que debe encajar en el anclaje con uña, en la que se ha ubicado la varilla roscada en vertical que permite su desplazamiento. Esta uña esta enrasada con otra uña inferior que evita el vuelco de las piedras inferiores ya que las dos uñas a tope generan una junta horizontal de 5 mm.

Las siguientes y últimas en colocarse serán las piedras laterales, soportadas del mismo modo que la central, introduciendo las acanaladuras practicadas en los extremos de su canto inferior en las pestañas de los anclajes en uña, unidos a su vez a los perfiles verticales, a los cuales se le ha atornillado una varilla roscada, para permitir el desplazamiento vertical de las piedras.

Para obtener las vueltas que es necesario efectuar, se dispone en la parte superior del cajón, un altímetro digital que parte de cero y que mide la longitud que sobresale de la



Figura 5.2.19 Imagen del perfil en L, pegado a la piedra lateral a la que se atornilla una varilla roscada para permitir su desplazamiento lateral, a través de la manipulación de una palometa exterior.



Figura 5.2.20 Imagen de las varillas roscadas laterales. Una inferior para mover la piedra inferior y dos superiores para desplazar la piedra superior.

varilla, con objeto de ver los milímetros que esta se desplaza. Así mismo, se mide el ancho de junta con un calibre y se cuentan el número de vueltas efectuados para tener un segundo testigo cuando varíe el espesor de la junta, ya que esta permanecerá inaccesible en el banco de pruebas y tendremos únicamente de referencia el calibre colocado en la parte superior y las vueltas de rosca indicadas.

Como ya se comentó en el prototipo de fachada ventilada 1, las piedras se deslizan sobre ruedas en el eje x. En el prototipo 2, las piedras inferiores se mueven con el mismo sistema de rodamiento y a su vez, a las piedras superiores se les adhiere un perfil en L al que se ancla una varilla que sale al exterior por el lateral. De nuevo, tenemos que contar las vueltas de palometa para verificar cuantas de ellas corresponden a un movimiento de 2,5 mm, e ir paulatinamente ampliando la junta vertical según la amplitud a ensayar. En este punto es muy importante que la junta vertical quede perfectamente alineada, entre piedras superiores e inferiores.



Figura 5.2.21 Imagen de técnicos del CITEEC subiendo el prototipo al banco de ensayos.

Una vez colocada la última piedra, es necesario calibrar el número de vueltas que será necesario efectuar a las distintas varillas roscadas, para conseguir los tamaños de junta objeto del estudio.

De esta forma queda únicamente adherir el EPDM en todo el perímetro del cajón y colocar la línea de boquillas antes de subir el prototipo al banco de ensayos.

Modificación del diseño de juntas en prototipo de fachada ventilada 2.

Cabe señalar que a la finalización de cada bloque de ensayos realizados con un diseño de junta, se llevan las piedras a la fábrica de granitos para su modificación.



Figura 5.2.22 Imagen de las piedras en taller.



Figura 5.2.23 Imagen de modificación de diseño de junta en taller.



Figura 5.2.24 Imagen de pesado de las garrafas.

Figura 5.2.25 Imagen de la garrafa con el tubo de desagüe de la cámara de aire introducido.



Figura 5.2.26 Vista de la manguera de desagüe del agua no infiltrada en la cámara.

Recogida de datos.

Una vez colocado el prototipo en el banco de ensayos, se procede a realizar los siguientes pasos.

En primer lugar, se introduce la goma de desagüe de la cámara de aire en una de las garrafas que tenemos a nuestra disposición en el laboratorio. Las garrafas se pesan antes del inicio de cada ensayo para restarles su peso al resultado final de las mismas con el agua en su interior.

A continuación se conecta la manguera que desagua, al sistema de aguas del propio laboratorio, el agua que se proyecta por las boquillas y no se infiltra en la cámara.

Así pues, una vez conectadas las dos mangueras, se procede a activar el equipo informático para la adquisición de los datos de caudal de agua proyectada y presión de aire impulsado por segundo, cantidades que tenemos que contrastar con el agua recogida en las garrafas para poder evaluar cada tipo de ensayo.

El CITEEC, dispone del diseño de un programa propio del banco de ensayos de A-E-V, el cual permite obtener los datos que son relevantes para la investigación.

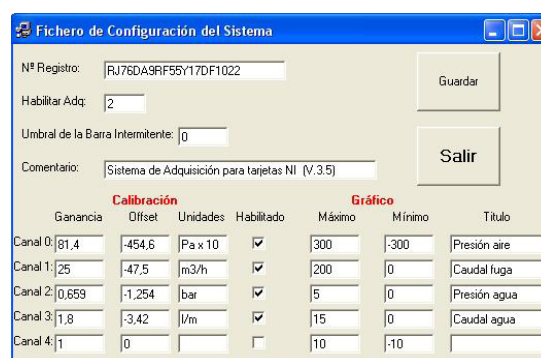


Figura 5.2.27 Imagen del sistema de adquisición de datos de banco de ensayos A-E-V.

Figura 5.2.28 Fichero de configuración del sistema de adquisición de datos.

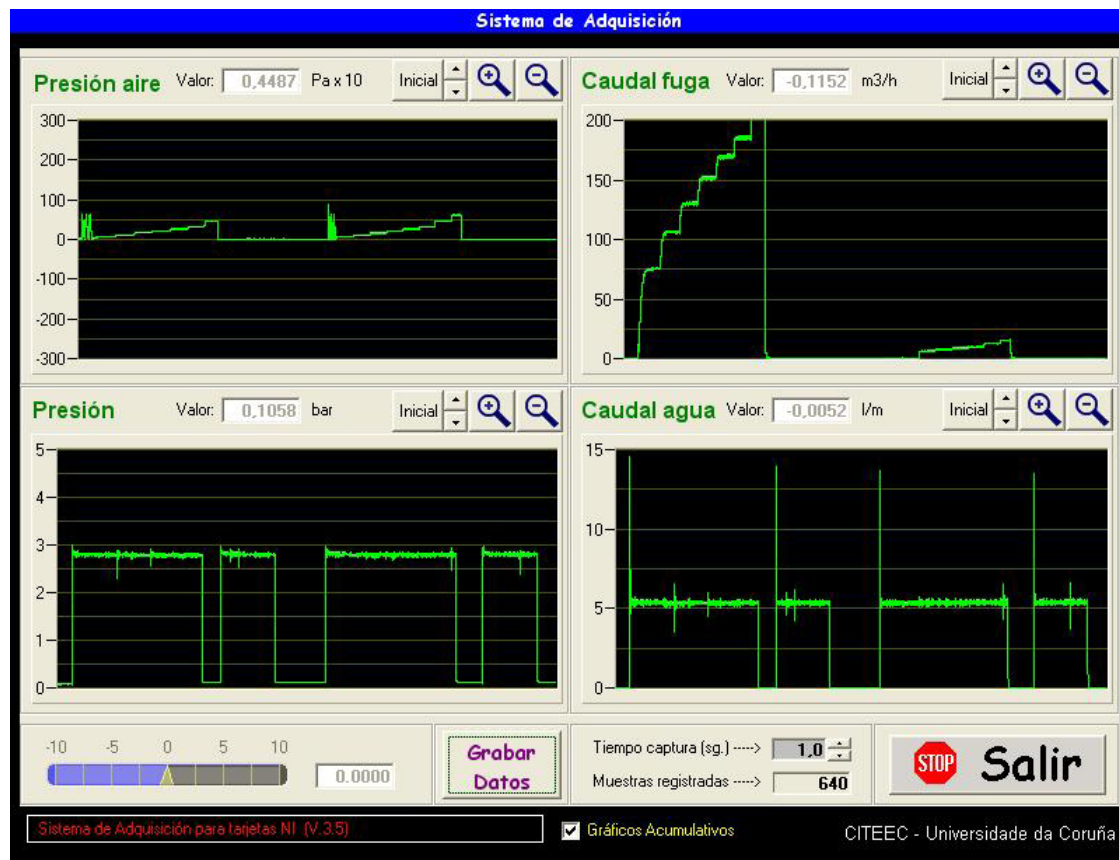


Figura 5.2.29 Sistema de adquisición de datos. Gráficos para comprobación de entrada de escalones de aire.

Una vez puesto en marcha el sistema de adquisición, se activa la entrada de presión de aire y según los parámetros marcados, se abre la llave del agua en el momento preciso del inicio de los escalones de presión. En los casos en los que no se ensaya con presión de aire, únicamente se abre la llave de paso del agua. A su vez se cronometra cada ensayo para que puedan ser comparables todos los del mismo tipo.

Se ha explicado hasta aquí todo el proceso seguido en el montaje en laboratorio de los prototipos de fachada ventilada 1 y 2. Una vez subido el dispositivo al banco de ensayos, se procede a iniciar el ensayo tipo.

En el siguiente capítulo se describen y analizan los ensayos tipo que se han realizado en el laboratorio del CITEEC de la universidad de A Coruña, disponiendo el prototipo en el banco de pruebas de estanqueidad de carpinterías, a las acciones de viento y lluvia, lo cual permite someter el modelo a diversas situaciones.

- a) sucesivos escalones de presión de viento (0-50-100-150-200-250-300-450-600 Pa)
- b) proyección de agua mediante tres aspersores ubicados en la parte superior
- c) ambas condiciones atmosféricas simultáneas

5.3. ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL

Se busca mediante estos ensayos, conocer datos acerca de la entrada de agua por juntas verticales en una fachada ventilada de piedra y determinar a su vez si la infiltración de agua puede variar según el diseño de junta vertical y la amplitud de la misma.

Para poder llevar a cabo esta investigación, ha sido necesario, diseñar un prototipo que simule una fachada trasventilada de 1m² con juntas verticales. Dicho dispositivo se somete a continuación a las acciones de lluvia y viento, para poder observar y recoger datos de infiltración del agua en la cámara. Para ello se emplea el banco de pruebas del laboratorio de hidráulica del CITEEC, utilizado habitualmente para ensayar ventanas a estanqueidad y permeabilidad al aire.

Tras un estudio de las juntas verticales más habituales en fachadas ventiladas, se decide centrar el mismo en tres tipos: junta vertical lisa, junta vertical acanalada y junta vertical rebajada (se descarta la junta vertical biselada por considerar que en vertical no se emplea y que su geometría dará resultados similares a la junta vertical lisa). Así mismo, se estiman tres amplitudes de junta 5, 7,5 y 10 mm para poder evaluar la influencia de cada una de ellas en relación a la infiltración de agua en el interior de la cámara.

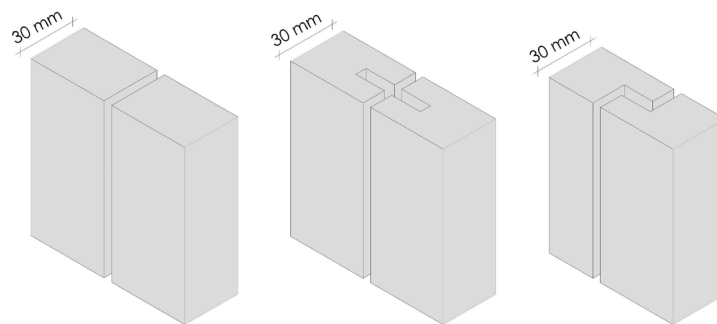


Figura 5.3.1 Esquema de los diseños de junta vertical.

Se realiza a continuación la descripción de los tipos de ensayo, según las situaciones de la cámara: fachada básica sin ecualización, que se ensaya tanto con sobrepresión como a presión atmosférica y fachada con cámara ecualizada, que se ensaya del mismo modo con sobrepresión y a presión atmosférica. Surgen de este modo cuatro ensayos tipo para cada espesor de junta y por cada diseño.

Se desarrolla a su vez una tabla que recoge y numera todos los ensayos tipo a realizar, para el caso de fachada ventilada con junta vertical.

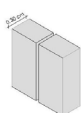
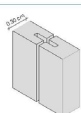
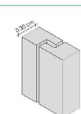
		FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA		
		espesor de junta (mm)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
JUNTA VERTICAL	 vertical lisa	5	ensayo tipo 1	ensayo tipo 2	ensayo tipo 3	ensayo tipo 4
		7,5	ensayo tipo 5	ensayo tipo 6	ensayo tipo 7	ensayo tipo 8
		10	ensayo tipo 9	ensayo tipo 10	ensayo tipo 11	ensayo tipo 12
	 vertical acanalada	5	ensayo tipo 13	ensayo tipo 14	ensayo tipo 15	ensayo tipo 16
		7,5	ensayo tipo 17	ensayo tipo 18	ensayo tipo 19	ensayo tipo 20
		10	ensayo tipo 21	ensayo tipo 22	ensayo tipo 23	ensayo tipo 24
	 vertical rebajada	5	ensayo tipo 25	ensayo tipo 26	ensayo tipo 27	ensayo tipo 28
		7,5	ensayo tipo 29	ensayo tipo 30	ensayo tipo 31	ensayo tipo 32
		10	ensayo tipo 33	ensayo tipo 34	ensayo tipo 35	ensayo tipo 36

Tabla 5.3.1 Enumeración de ensayos tipo a realizar para una fachada trasventilada de piedra con junta vertical.

Para igualar los datos, aunque no en todos los ensayos se alcanzan los mismos niveles de presión, se extrapolan valores y se unifican según el tiempo transcurrido desde el inicio del ensayo. Se ha establecido, como criterio para todos los ensayos la misma duración de los mismos, siendo de 24 minutos en los casos que se someten a acción de lluvia y viento, y de 10 minutos en los casos en los que únicamente se somete a la acción del agua.

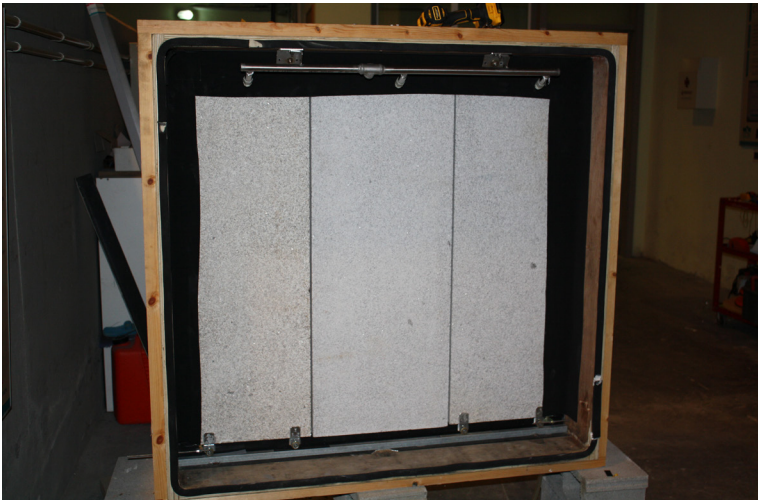


Figura 5.3.1 Imagen de la línea de boquillas de proyección de agua en prototipo de fachada ventilada con junta vertical.

La disposición de la junta vertical responde a criterios de diseño, según la situación de las boquillas de agua, de tal forma que la proyección de la misma es uniforme y no se aplica directamente sobre la junta de los aplacados.

Las condiciones técnicas de partida, comunes a todos los ensayos son las siguientes:

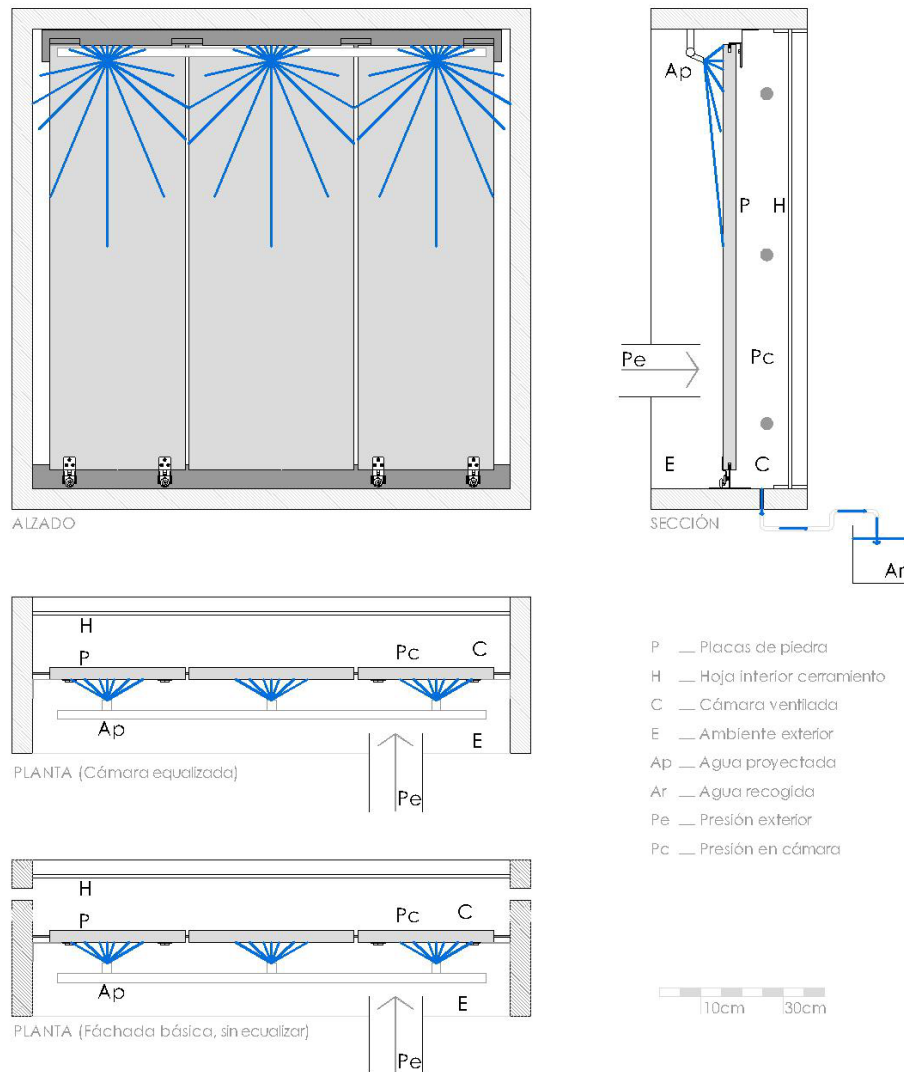


Figura 5.3.3 Esquema de prototipo de fachada ventilada con junta vertical, incluyendo situación de boquillas de proyección de agua.

- Espesor de la piedra: 30 mm
- Ángulo de incidencia de la proyección del chorro de agua: 28°
- Número de aspersores: 3
- Saltos de presión de cada ensayo: 0-50-100-150-200-250-300-450-600 Pa.

La proyección del agua se ejecuta escalonadamente, dando saltos de presión cada 3 minutos aproximadamente. Finalizando cada ensayo a los 24 minutos estipulados, alcanzando distintas presiones de aire según el grado de confinamiento de la cámara.

A continuación se adjunta un cuadro de equivalencia entre Presión (Pa) y Velocidad (Km/h), donde podemos apreciar que la máxima presión a la que es proyectada el agua no pasa de los 120 Km/h. Como veremos en ningún momento del ensayo se llegan a superar los 600 Pa de presión de agua.

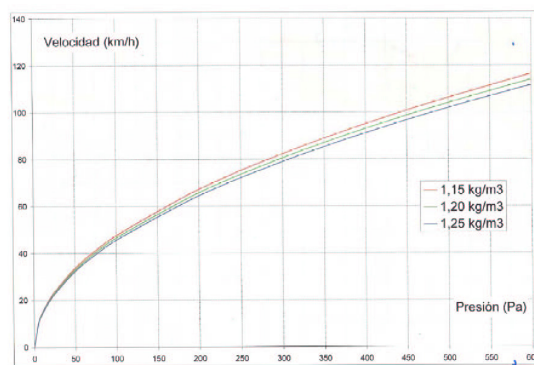


Figura 5.3.4 Cuadro de equivalencia entre presión (Pa) y velocidad (Km/h)

En el siguiente apartado, se describirán los ensayos realizados que seguirán igualmente el mismo desarrollo. Para una mejor visualización de los mismos se elaboran unas tablas que recogen los datos alcanzados para cada ensayo tipo, según diseño de junta y espesor. Con los resultados obtenidos se dibuja una gráfica de infiltración de agua por la junta, en relación al agua proyectada para cada ensayo tipo.

Así mismo en cada bloque se elaboran unas gráficas comparativas según las condiciones de partida, del espesor de la junta y su diseño.

5.3.1. ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL LISA

Para realizar los ensayos de junta vertical lisa, debemos verificar la correcta disposición de todos los elementos del dispositivo, al igual que el funcionamiento del equipo auxiliar del laboratorio.

Una vez colocados los aplacados en el prototipo de fachada ventilada con juntas verticales lisas, se procede a fijar el espesor de junta en 5 mm, a partir del cual podremos variar la amplitud de la misma, sin desmontar de nuevo el prototipo del banco de pruebas. Igualmente nos permitirá controlar el grado de confinamiento de la cámara.

De igual modo, al inicio de todos los ensayos, se debe reiniciar el programa de recogida de datos, y poner a cero el cronómetro para que los tiempos de exposición de agua sean los mismos en todos los ensayos, según se realice con sobrepresión (24 minutos) o a presión atmosférica (10 minutos) al tiempo que se acciona la llave de entrada de agua.

a. Observaciones durante la realización de ensayos de junta vertical lisa 5 mm.

ENSAYO TIPO 1: JUNTA VERTICAL LISA 5 mm .CÁMARA VENTILADA CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24minutos.

En primer lugar se pesan las garrafas para obtener el peso de las mismas que tendremos que descontar de su peso final, con el agua que se ha infiltrado en la cámara de aire. En la primera de ellas se sitúa la cánula, de 10mm de diámetro, por la que se vacía el agua que penetra en la cámara de aire.

Se inicia el ensayo en las condiciones descritas anteriormente, verificando que la cámara esté ventilada por sus laterales y activando a su vez el dispositivo que aplicará las escalas de sobrepresión.

La primera constatación de agua en la cámara, se detecta en las esquinas inferiores del canto de la piedra, donde termina la junta vertical. Se aprecian unos pequeños chorros de agua por el perfil en T inferior que sujeta los aplacados. Sin embargo por el canto de la junta no discurre agua a simple vista.

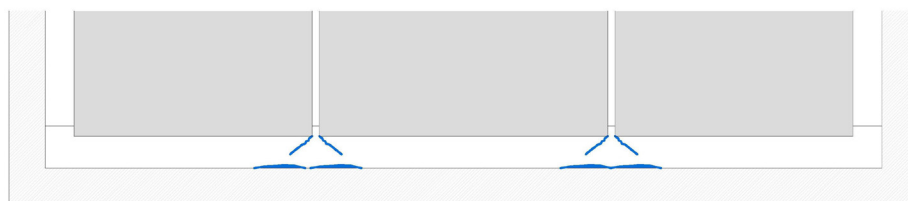


Fig 5.3.1.1 : Esquema de la proyección de agua en pequeños chorros en las esquinas inferiores de la piedra. Vista frontal desde el interior de la cámara de aire.



Figura 5.3.1.2 Imagen de la junta vertical de 5 mm en la que se aprecia que no se produce ningún menisco.

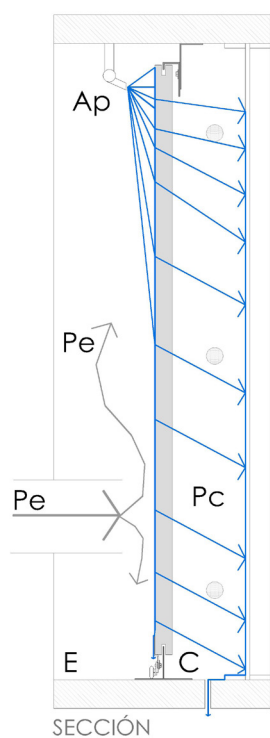


Figura 5.3.1.3 Esquemas de la proyección de agua en el vidrio que simula la cara interior de la cámara de aire.



Figura 5.3.1.4 Vista de la proyección de agua en el vidrio que simula la cara interior de la cámara de aire.

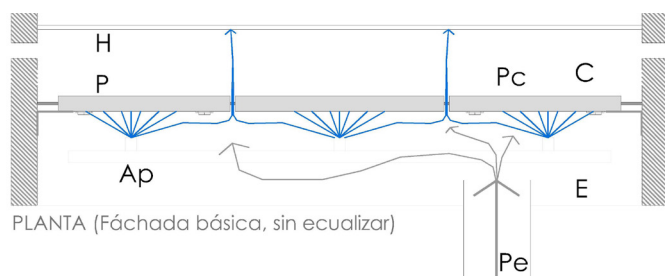




Figura 5.3.1.5 Vista de la proyección de agua en el vidrio que simula la cara interior de la cámara de aire.

Se observa durante toda la realización de este ensayo (tipo 1) que no se produce menisco en la junta vertical lisa de 5 mm de amplitud.

Con la entrada del primer escalón de presión, se aprecia sin embargo como penetra el agua a través de las juntas verticales, proyectándose sobre el cristal que simula la cara interior de la cámara.

Se comprueba, a su vez, como nunca se llena la cámara, únicamente se generan unos pequeños charcos que no cubren toda la superficie de la misma.

Con el último escalón, se aprecia la entrada de agua con más velocidad y constancia, tanto en las líneas de agua de las esquinas de las piedras, como en la hoja de vidrio desde la que se observa la cámara de aire.

A los 21 minutos se observa el chorro de agua de las esquinas proyectado muy fuerte, más débil en una de ellas, debido seguramente a que la inyección de aire se produce por la zona izquierda, visto desde dentro de la cámara.

Se empapa casi todo el suelo de la cámara aunque no llega a 5 mm y está desaguando continuamente.

Una vez terminado el ensayo y pesadas las garrafas obtenemos una infiltración de agua de 4,32 litros. Que supone un porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada del 3,50 %.

ENSAYO TIPO 2: JUNTA VERTICAL LISA 5 mm. CÁMARA VENTILADA PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Tiempo: 10 minutos

Continuando con el protocolo, se anota nuevamente el peso de la garrafa de 1,14 Kg para posteriormente descontarlo del peso al final del ensayo. Se introduce la cánula para el vaciado del agua infiltrada en la cámara de aire y se inicia el programa, al igual que el cronómetro.

En este caso, se observa que la entrada de agua es casi imperceptible. A su vez, se ve discurrir el agua por la junta, por el canto de la piedra, no llegando a hacer gotera en las esquinas.

Una vez terminado el ensayo y pesadas las garrafas (garrafa 2: 1,26 kg después del ensayo) obtenemos una infiltración de agua de 0,12 litros. Que supone un porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada de 0,23 %.

ENSAYO TIPO 3: JUNTA VERTICAL LISA vertical 5 mm .CÁMARA ECUALIZADA CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

A los 12 minutos no se aprecian goteras en las esquinas de las piedras, en la zona de las juntas, sin embargo, empieza a empañarse el cristal y se observa como los cantos de la piedra están humedecidos.

A los 19 minutos siguen sin apreciarse goteras en las esquinas. Se percibe únicamente una gota aunque no cae en la cámara, se mantiene unida a la piedra debido al efecto de la tensión superficial.

Una vez terminado el ensayo y pesadas las garrafas (la garrafa 1 pesa 1,72 kg después del ensayo a los que les tendremos que restar los 1,46 Kg que pesaba al inicio) obtenemos una infiltración de agua de 0,26 litros. Que supone un porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada de 0,21%.

Este ensayo se realizó en primera instancia con un tiempo de 29 minutos, agotando la presión, y no apreciándose entrada de agua, y se pasó de 1,46 Kg de peso al inicio del ensayo a 1,54 Kg al finalizar el mismo. Debido a que era el segundo ensayo realizado, se considera despreciable la diferencia con el realizado en 24 minutos, por ser cantidades muy pequeñas producto del agua acumulada, pequeñas gotas que quedan y que pueden trasladarse de un ensayo a otro.



Figura 5.3.1.6 Imagen desde el interior de la cámara de aire de ensayo de junta vertical de 5 mm con cámara ecualizada y sobrepresión.

Figura 5.3.1.7 Imagen desde el interior de la cámara de aire de ensayo de junta vertical de 5 mm con cámara ecualizada y sobrepresión.

ENSAYO TIPO 4: JUNTA VERTICAL LISA 5 mm. CÁMARA ECUALIZADA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Realizamos a continuación el ensayo tipo 4 en las condiciones establecidas inicialmente de presión atmosférica y cámara ecualizada.

En este caso, no se aprecia infiltración de agua por la junta vertical, aunque observando con detalle se ven pequeñas charcos de agua en el carril por el que deslizan las ruedas que permiten deslizar las piedras que conforman la cara exterior de la fachada ventilada. Estos charcos se encuentran solo en la zona de la junta, en la cual podemos apreciar que no se produce taponamiento.

Una vez terminado el ensayo y pesadas las garrafas, obtenemos una infiltración de agua de 0,10 litros. Que supone un porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada de 0,20 %.



Figura 5.3.1.8 Imagen del interior de la cámara con charcos de agua y carril por el que deslizan las ruedas ancladas a la piedra.



Figura 5.3.1.9 Imagen de la proyección de agua en el prototipo de fachada trasventilada desde el exterior de la misma.



Figura 5.3.1.10 Imagen de la junta de 5 mm en ensayo con cámara ecualizada y a presión atmosférica. Junta humedecida en su canto.

b. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa 5 mm.

Una vez finalizados los ensayos tipo 1-4 y recogidos datos de los mismos, se procede a ordenarlos para su posterior análisis e interpretación.

Los primeros datos, a analizar, son los litros de agua recogidos en cada ensayo tipo que tendremos que contrastar con el caudal de agua proyectada en el mismo para poder obtener el porcentaje de infiltración de agua que se produce en la cámara. Se realiza una media del caudal de agua proyectada durante la duración de cada ensayo y con esta se calcula el porcentaje de infiltración de agua en la cámara.

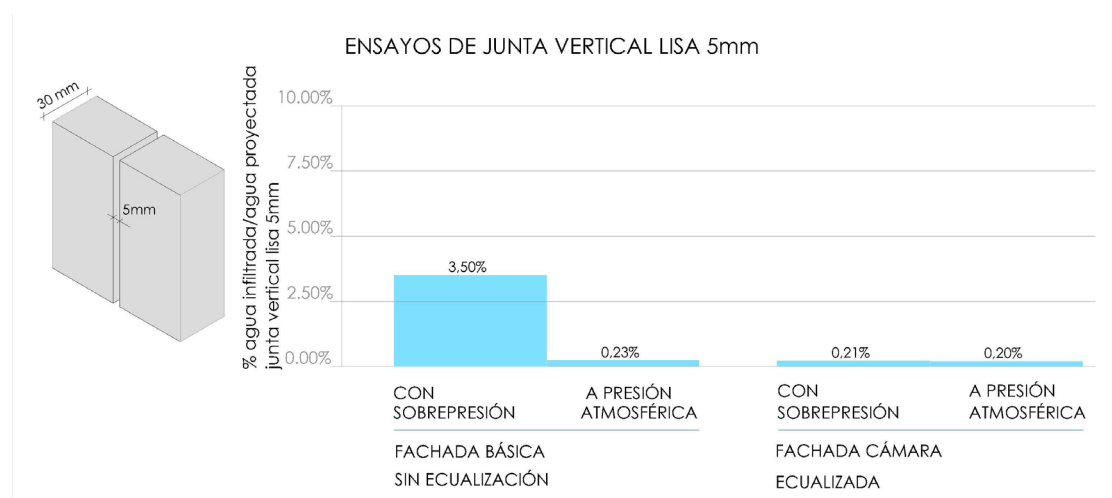
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL LISA 5mm

	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,15	5,15	5,13	4,99
AGUA INFILTRADA (litros)	4,32	0,12	0,26	0,10
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	3,50%	0,23%	0,21%	0,20%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	0,18	0,01	0,01	0,01
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	460	—	600	—

Tabla 5.3.1.1 Resultados de ensayos tipo 1 a 4 de fachada ventilada de junta vertical lisa de 5 mm de espesor.

Se comprueba a su vez la presión máxima alcanzada en cada ensayo tipo del 1-4 verificando los saltos de presión producidos.

Se elabora a partir de estos datos, una gráfica de barras, para ayudarnos a su análisis e interpretación, en la cual se compara, para un espesor de junta vertical de 5 mm, el porcentaje de agua infiltrada en la cámara de aire, en relación al agua proyectada para cada ensayo tipo: fachada básica sin ecualización con sobrepresión y a presión atmosférica y fachada con cámara ecualizada con sobrepresión y a presión atmosférica.



Gráfica 5.3.1.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 1 a 4 de fachada ventilada de junta vertical lisa de 5 mm de espesor.

Los porcentajes de agua infiltrada en relación al agua proyectada, que muestra la gráfica de barras, resultado de los ensayos realizados de los tipos 1 a 4 indican que la mayor entrada de agua en una junta lisa de 5 mm de espesor es del 3,50 % y se produce en la hipótesis de cámara ventilada con sobrepresión, es decir cuando actúan las fuerzas de viento y diferencia de presión.

Se observa así que cuando únicamente actúan las fuerzas gravitatoria y la energía cinética el porcentaje de entrada de agua en relación al agua proyectada prácticamente no varía, oscilando entre un 0,23 y 0,20 %, siendo el resultado más favorable con la cámara ecualizada a presión atmosférica. Con cámara ecualizada y sobrepresión, la entrada de agua también alcanza el mismo valor, un 0,21 % en relación al agua proyectada, debido a que al igualarse la presión interior y exterior no hay circulación ni movimiento de masas, por lo que el comportamiento del conjunto es similar a los ensayos realizados a presión atmosférica.

Lo que nos conduce a concluir que sin efecto del viento la entrada de agua en la cámara es despreciable.

c. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical lisa de 7,5 mm.

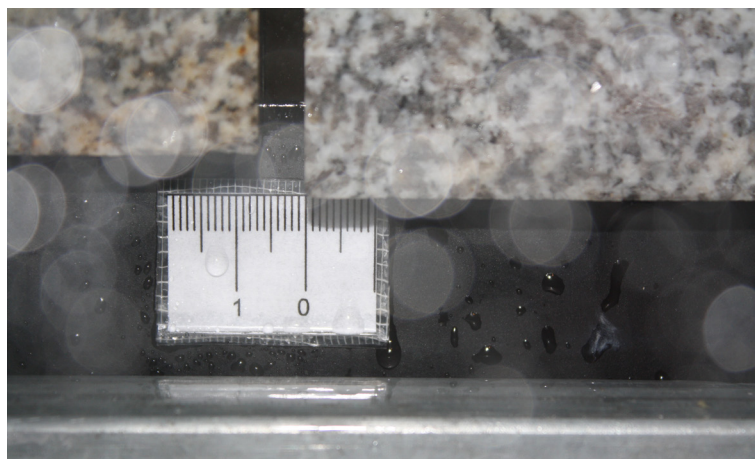


Figura 5.3.1.11 Imagen de la junta vertical lisa con amplitud de 7,5 mm.

Se describen a continuación los ensayos realizados para una amplitud de junta vertical lisa de 7,5 mm.

ENSAYO TIPO 5: JUNTA VERTICAL LISA 7,5 mm. CAMARA VENTILADA. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

En primer lugar pesamos la garrafa obteniendo un peso de 1,26 kg antes del ensayo e introducimos la cánula dentro de la garrafa. Se procede a continuación a reiniciar el programa informático de recogida de datos, al igual que el cronómetro, y abrimos la llave del agua.

Se observa que a los 2 minutos entran chorros de agua por proyección directa a través de la junta en el vidrio de la cámara.

A los 10 minutos el agua proyectada hacia el vidrio fluye continuamente con gotas rápidas.

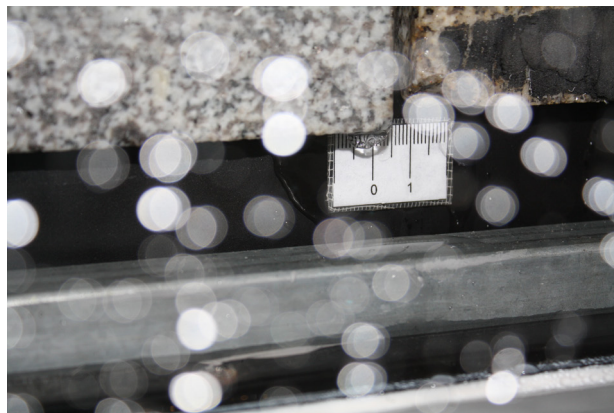


Figura 5.3.1.12 Imagen de proyección de agua a través de la junta vertical lisa con amplitud de 7,5 mm, en condiciones de cámara sin ecualizar y sobrepresión.

Figura 5.3.1.13 Imagen de acumulación de gota en la esquina de la junta vertical lisa con amplitud de 7,5 mm.

Se percibe como el canto de la junta está empapado con agua discurriendo, la cual forma una gotera continua en la esquina de la piedra, por el perfil en T.

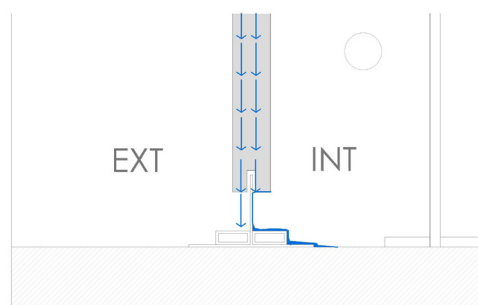


Figura 5.3.1.14. Esquema del agua que discurre por el canto de la junta vertical lisa con amplitud de 7,5 mm.

La cámara está empapada pero no llega a acumularse agua, se desagua antes. Sin embargo por el canto entra agua continuamente.

A los 20 minutos se aprecia un chorro proyectado en la esquina, continuo y a velocidad constante.

Una vez terminado el ensayo y pesadas las garrafas (garrafa 1: 4,80 kg después del ensayo) obtenemos una infiltración de agua de 3,54 litros. Que supone un porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada de 2,94 %.

ENSAYO TIPO 6: ENSAYO DE JUNTA VERTICAL LISA 7,5 mm. CÁMARA VENTILADA . PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

A los 6 minutos advertimos una gotera en una de las esquinas de la piedra por la junta, pero deslizándose por el perfil en T.

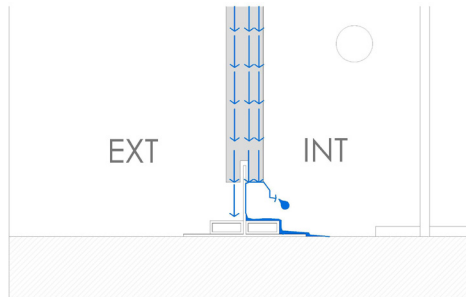


Figura 5.3.1.15 Esquema de gota de agua en la esquina de la junta vertical lisa con amplitud de 7,5 mm que discurre por el perfil en T invertido.

Sin embargo en la otra junta no se apreciaba gotera, solo pequeñas gotas que no se deslizan, por el perfil en T.

Observando atentamente, se ve como el agua discurre por el canto de la junta, la mayoría por el lado de la proyección de agua, cayendo por el exterior.

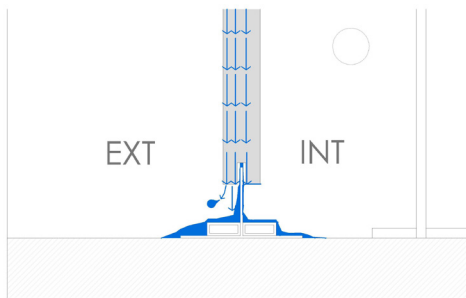


Figura 5.3.1.16 Esquema del recorrido del agua por la junta vertical lisa.

Una vez terminado el ensayo y pesada la garrafa (garrafa 1: 1,54 kg después del ensayo) obtenemos una infiltración de agua de 0,04 litros. Que supone un porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada de 0,077 %.

ENSAYO TIPO 7: JUNTA VERTICAL LISA 7,5 mm. SOBREPRESIÓN, CÁMARA ECUALZADA. Duración: 24 minutos

A los 5 minutos de dar comienzo el ensayo, no se apreciaba ninguna gotera ni entrada de agua en la cámara ventilada.

A los 10 minutos sigue sin producirse entrada de agua. Ha entrado ya el tercer escalón de presión, aunque observamos que no influye en la infiltración de agua en la cámara de aire. Sin embargo se empieza a condensar el vidrio producto de la ecualización de la cámara.

Transcurridos 15 minutos desde el comienzo del ensayo, advertimos que sigue sin verse ni una sola gotera que deslice por las piedras o por sus juntas, aunque a los 20 minutos se aprecian pequeñas gotas que discurren por el perfil en 'T' inferior, que sujeta la piedra en su eje central inferior, justo en la zona de la junta.

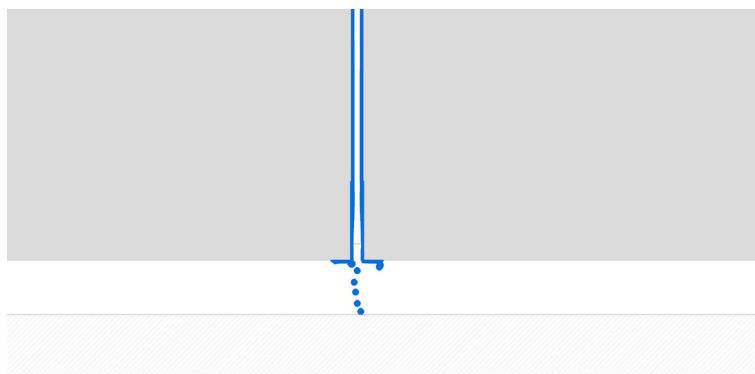


Figura 5.3.1.17 Esquema del movimiento del agua por la junta vertical. Vista frontal.

Durante la realización de este ensayo con cámara confinada, no se aprecia variación en la entrada de agua cada vez que se produce un salto de presión.

Una vez terminado el ensayo y pesadas la garrafa (1,84 kg después del ensayo) obtenemos una infiltración de agua de 0,48 litros. Que supone un porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada de 0,38%

ENSAYO TIPO 8: JUNTA VERTICAL LISA 7,5 mm. CÁMARA ECUALIZADA A PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración Ensayo: 10 minutos

Se observa en este caso, como discurre el agua por la junta en vertical, sin embargo hacia el interior de la cámara no penetra nada, es conducida hacia el lado exterior de la 'T' invertida que se ubica en la parte inferior de la piedra, no entrando por lo tanto en la cámara.

Posteriormente se aprecian pequeñas gotas interiores que no se mueven y se empieza a empañar el vidrio, por pequeñas zonas.

Una vez terminado el ensayo obtenemos una infiltración de agua de 0,12 litros.

d. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa 7,5 mm.

Al igual que en el apartado b de este capítulo se recogen los datos obtenidos en los ensayos y se calculan los porcentajes de agua infiltrada según el caudal de agua proyectada en cada ensayo.

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL LISA 7,5mm

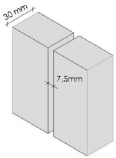
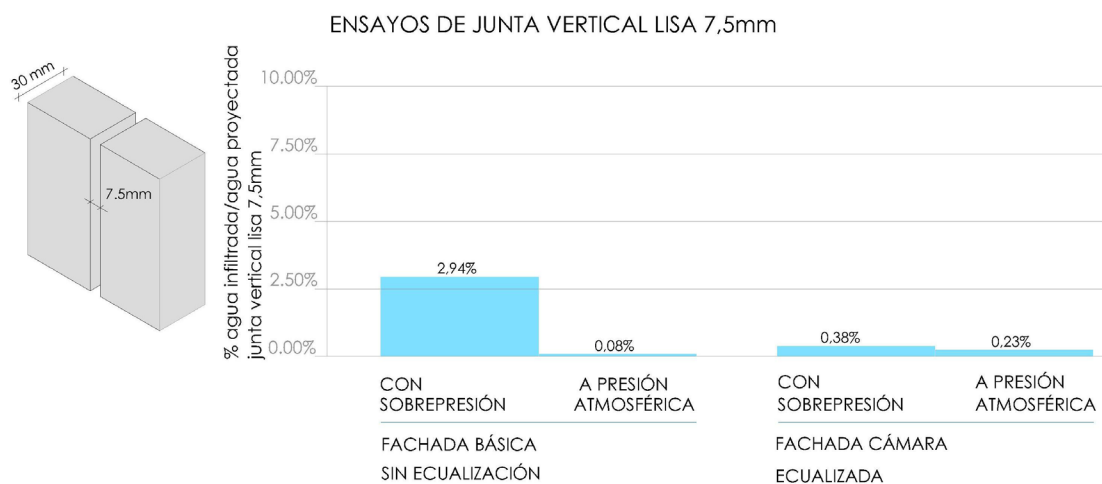
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,11	5,22	5,17	5,21
AGUA INFILTRADA (litros)	3,54	0,04	0,48	0,12
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	2,94%	0,08%	0,38%	0,23%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	0,15	0,01	0,02	0,01
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	480	—	630	—

Tabla 5.3.1.2 Resultados de ensayos tipo 5 a 8 de fachada ventilada de junta vertical lisa de 7,5 mm de espesor.

Se resumen a continuación los datos obtenidos, en una gráfica de barras a partir de la cual analizaremos los resultados.



Gráfica 5.3.1.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 5 a 8 de fachada ventilada de junta vertical lisa de 7,5 mm de espesor.

Los porcentajes de agua infiltrada que muestra la gráfica resultado de los ensayos realizados de los tipos 5 a 8, muestran que la mayor entrada de agua en una junta lisa de 7,5 mm de espesor es de 2,94 % y se produce en la situación de cámara ventilada con sobrepresión, cuando actúan las fuerzas de viento y diferencia de presión.

Sin embargo, cuando únicamente actúa la fuerza gravitatoria, el porcentaje de entrada de agua en relación al agua proyectada prácticamente no varía, oscilando entre un 0,23 % y 0,08 %. Igualmente observamos que con cámara ecualizada y sobrepresión la entrada de agua también es prácticamente nula, al igualarse las presiones interior y exterior no hay circulación ni movimiento de masas por lo que el comportamiento del conjunto es similar a los ensayos realizados a presión atmosférica.

Lo cual nos conduce a la conclusión de que sin el efecto del viento el agua que entra en la cámara es despreciable y el poco que se introduce en la misma, es debido a diferencias de presión de aire.

e. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical lisa de 10 mm.

ENSAYO TIPO 9: JUNTA VERTICAL LISA 10 mm. CAMARA VENTILADA. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

A los 4 minutos, la entrada de agua que se percibe es debida al chorro de agua por proyección directa en la esquina inferior de la junta. Se observan a su vez unas gotas rápidas caer por el vidrio con una cadencia en función de la presión, al principio cada 4 segundos aproximadamente. A los 8 minutos las gotas del cristal caen cada 4-6 segundos, ha entrado otro escalón de presión.

A los 14 minutos, se observa una gotera en la esquina de la junta de la piedra, que baja por el canto. Esa esquina tiene una rotura, sin embargo en las otras esquinas sin rotura no se aprecia tanto el chorro de agua.

Se observa igualmente que el agua en la junta, discurre por todo su canto.

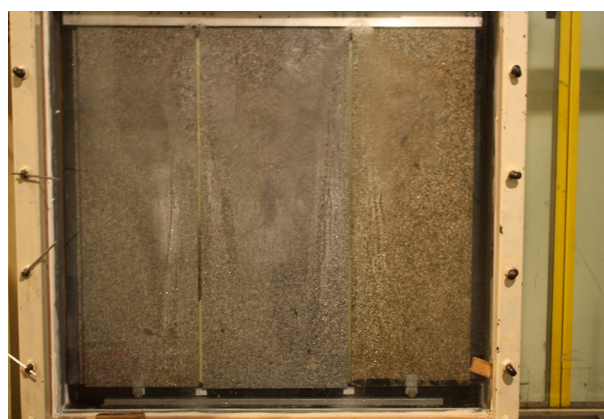


Figura 5.3.1.18 Vista desde el interior de la cámara de la junta vertical lisa de 10 mm.

Figura 5.3.1.19 Vista desde el interior de la cámara de ensayo de junta vertical lisa de 10 mm. La proyección de agua alcanza la hoja interior de la cámara que se corresponde en la imagen con el vidrio.

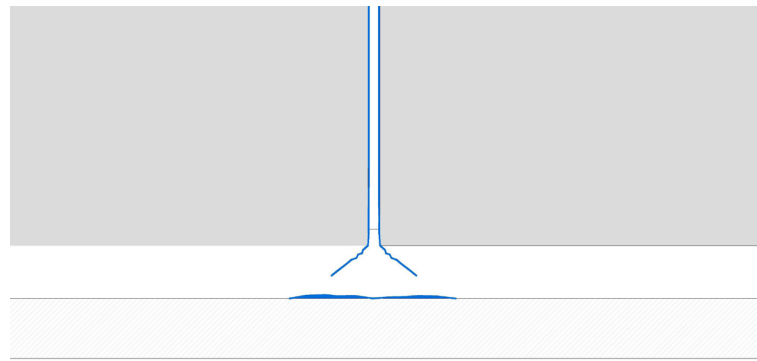


Figura 5.3.1.20 Esquema de la proyección del agua en las esquinas inferiores de la junta vertical de 10 mm.

A los 22 minutos, se aumenta otro escalón de presión de aire y se empieza con la proyección de agua en las esquinas.

Una vez finalizado el ensayo y pesadas las garrafas obtenemos una infiltración de agua de 2,92 litros.

ENSAYO TIPO 10: JUNTA VERTICAL LISA 10 mm. CAMARA VENTILADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

En la primera revisión de la cámara al inicio del ensayo no se aprecia entrada de agua. A los 6 minutos sigue sin observarse entrada de agua, hecho que se prolongará durante todo el ensayo.

Una vez terminado el ensayo y pesada la garrafa obtenemos una infiltración de agua de 0,12 litros.

ENSAYO TIPO 11: JUNTA VERTICAL LISA 10 mm. CAMARA ECUALIZADA. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Transcurridos 7 minutos desde el inicio del ensayo, no se aprecia entrada de agua en la cámara. Solo aparecen pequeñas gotas que no se desplazan en el perfil en T en la zona de las dos juntas verticales.

Sin embargo, a los 13 minutos se percibe cierta humedad en la junta, en el canto de las piedras, no obstante hacia el interior de la cámara no se advierte goteo de agua.

Se puede discernir a continuación, como discurre el agua por el canto de la piedra aunque por la zona exterior. A los 18 minutos sigue sin apreciarse entrada de agua en la cámara.

Una vez terminado el ensayo y pesada la garrafa obtenemos una infiltración de agua de 0,24 litros.

ENSAYO TIPO 12: JUNTA VERTICAL LISA 10 mm. CÁMARA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Se observa como se acumulan gotas alrededor de la junta en el perfil en T inferior, aunque no se percibe movimiento. Se concluye que prácticamente no entra agua.

Una vez terminado el ensayo, obtenemos una infiltración de agua de 0,24 litros.

f. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa 10 mm.

Al igual que para la junta de 5 mm y 7,5 mm, se procede a continuación a ordenar los datos recogidos procedentes de los ensayos tipo 9 a 12 como se muestra en la siguiente tabla:

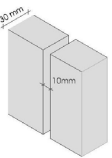
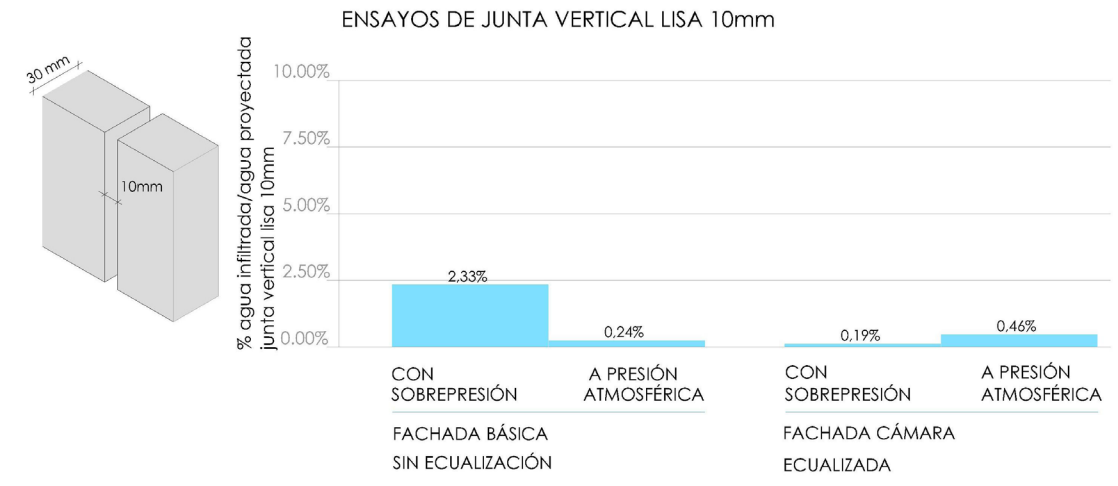
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL LISA 10mm				
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,20	5,08	5,20	5,20
AGUA INFILTRADA (litros)	2,92	0,12	0,24	0,24
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	2,33%	0,24%	0,19%	0,46%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	0,12	0,01	0,01	0,02
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	480	—	640	—

Tabla 5.3.1.2 Resultados de ensayos tipo 5 a 8 de fachada ventilada de junta vertical lisa de 7,5 mm de espesor.

Al igual que para la amplitud de junta de 5 y 7,5 mm la menor infiltración para una junta vertical lisa de 10 mm se produce en situación de presión atmosférica independientemente del grado de confinamiento de la cámara y con sobrepresión con cámara ecualizada. Siendo los valores del orden del 0,30 %.

La mayor infiltración ocurre en la situación de cámara sin ecualizar y a sobrepresión, con un 2,33 % de infiltración de agua en la cámara en relación al agua proyectada.

Para una mejor interpretación de los datos obtenidos a raíz de los ensayos realizados se muestra la siguiente gráfica.



Gráfica 5.3.1.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 9 a 12 de fachada ventilada de junta vertical lisa de 10 mm de espesor.

Por lo tanto destacar el bajo valor de infiltración de agua con junta vertical lisa de 10 mm de espesor, un 2,33 % en la situación más desfavorable.

5.3.1.1 COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL LISA

Tras finalizar los ensayos de junta vertical lisa se procede a comparar los datos obtenidos en los distintos ensayos realizados para los tres espesores de junta planteados, de 5 mm, de 7,5 mm y de 10 mm correspondientes a los tipos 1 a 12.

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL LISA

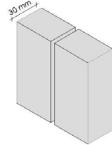
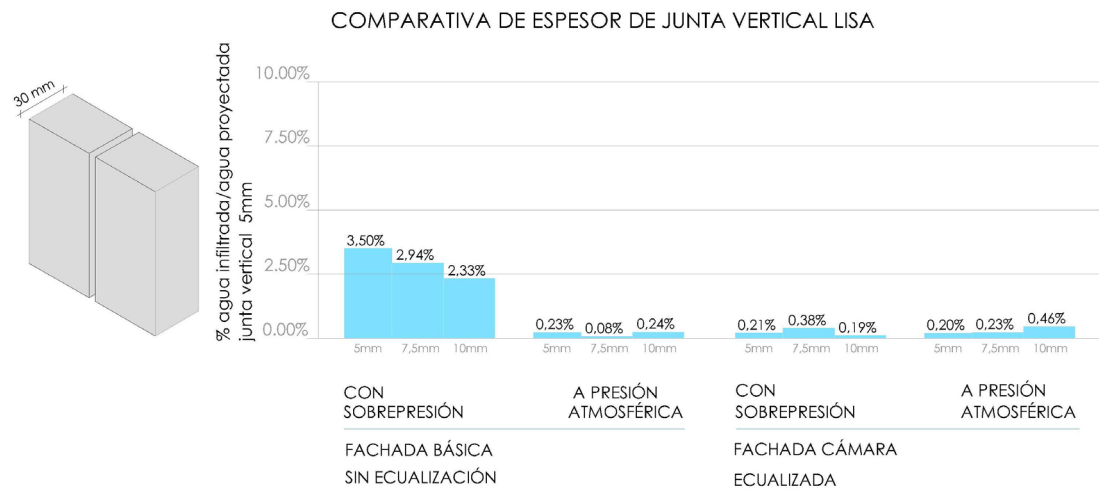
		FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
		ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5	5,15	5,15	5,13	4,99
	7,5	5,11	5,22	5,17	5,21
	10	5,20	5,08	5,20	5,20
AGUA INFILTRADA (litros)	5	4,32	0,12	0,26	0,10
	7,5	3,54	0,04	0,48	0,12
	10	2,92	0,12	0,24	0,24
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	5	3,50%	0,23%	0,21%	0,20%
	7,5	2,94%	0,08%	0,38%	0,23%
	10	2,33%	0,24%	0,11%	0,46%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	5	0,18	0,01	0,01	0,01
	7,5	0,15	0,01	0,02	0,01
	10	0,12	0,01	0,01	0,02
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	5	460	—	600	—
	7,5	480	—	630	—
	10	480	—	640	—

Tabla 5.3.1.4. Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical lisa de 5, 7.5 y 10 mm de espesor.



Gráfica 5.3.1.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical lisa.

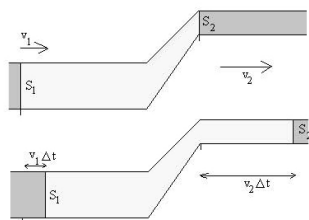
Con estos datos, podremos analizar a continuación, qué espesor de junta es más favorable, para minimizar la entrada o infiltración de agua que se produce en una cámara de aire ventilada, según las condiciones expuestas, cámara básica ventilada sin ecualización y cámara ecualizada, considerando en ambos casos la sobrepresión o únicamente la presión atmosférica.

En este punto, realizaremos a partir de estos datos, una gráfica de barras comparativa de los tres espesores, según las condiciones de la cámara de aire.

De los resultados anteriores, se deduce que la entrada de agua por la junta vertical lisa, de un aplacado de piedra de 3 cm de espesor, es prácticamente despreciable en el caso de cámara ecualizada, y en el caso de cámara ventilada a presión atmosférica.

Si comparamos la entrada de agua en el caso de cámara ventilada con sobrepresión, observamos que la infiltración de agua es inversamente proporcional al espesor de junta.

A su vez, la cantidad de agua infiltrada es mayor cuanto más fino es el espesor de la junta. Para explicarlo nos remitiremos a la ecuación de la continuidad:



Consideremos una porción de fluido en color amarillo en la figura, el instante inicial t y en el instante $t + \Delta t$.

En un intervalo de tiempo Δt la sección $S1$ que limita a la porción de fluido en la tubería inferior se mueve hacia la derecha $\Delta x1 = v1\Delta t$. La masa de fluido desplazada hacia la derecha es $\Delta m1 = \rho \cdot S1 \Delta x1 = \rho S1 v1 \Delta t$.

Análogamente, la sección $S2$ que limita a la porción de fluido considerada en la tubería superior se mueve hacia la derecha $\Delta x2 = v2\Delta t$. en el intervalo de tiempo Δt . La masa de fluido desplazada es $\Delta m2 = \rho S2 v2 \Delta t$. Debido a que el flujo es estacionario la masa que atraviesa la sección $S1$ en el tiempo Δt , tiene que ser igual a la masa que atraviesa la sección $S2$ en el mismo intervalo de tiempo. Luego

$$v_1 S_1 = v_2 S_2$$

Esta relación se denomina ecuación de continuidad.

En la figura, el radio del primer tramo de la tubería es el doble que la del segundo tramo, luego la velocidad del fluido en el segundo tramo es cuatro veces mayor que en el primero.

Cuando la separación entre los aplacados es de 5 mm la velocidad del viento es mayor que en los casos de junta de espesor 7,5 y 10 mm, por lo que arrastra mayor cantidad de agua en su recorrido.

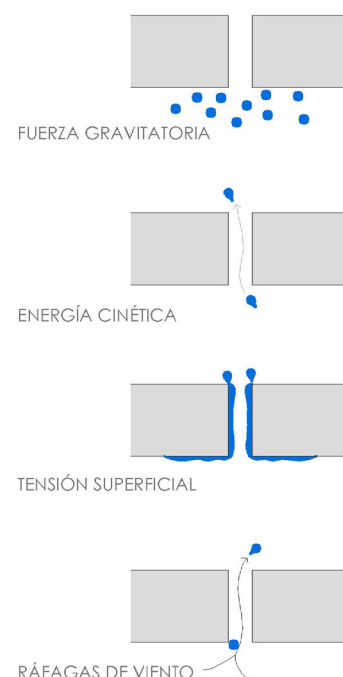
Por lo tanto con junta vertical lisa el espesor más favorable es de 10mm para una cámara ventilada con sobrepresión, ya que se considera esta como la hipótesis más cercana a la realidad constructiva.

Sin embargo, si se ecualiza la cámara, la entrada de agua disminuye sustancialmente siendo prácticamente nula con 10 mm de espesor. Aunque en estas situaciones de cámara ecualizada o cámara ventilada a presión atmosférica, el espesor de la junta prácticamente no influye, produciéndose casi la misma infiltración.

Como se indicó anteriormente, podemos equiparar los resultados obtenidos en condiciones de presión atmosférica, indistintamente del grado de confinamiento de la cámara, con los obtenidos con cámara ecualizada a sobrepresión, ya que al ecualizar la cámara, las presiones interior y exterior se igualan, y no hay circulación ni movimiento de masas de aire, por lo que el comportamiento del conjunto es similar a los ensayos realizados a presión atmosférica.

Se comentaba en el capítulo de introducción que J.K Garden planteaba la existencia de seis fuerzas que introducen el agua en la cámara de una fachada ventilada, sin embargo sus esquemas de estas fuerzas se refieren siempre a juntas horizontales. A continuación tras la observación de los ensayos realizados se analiza como influyen las mismas en las juntas verticales:

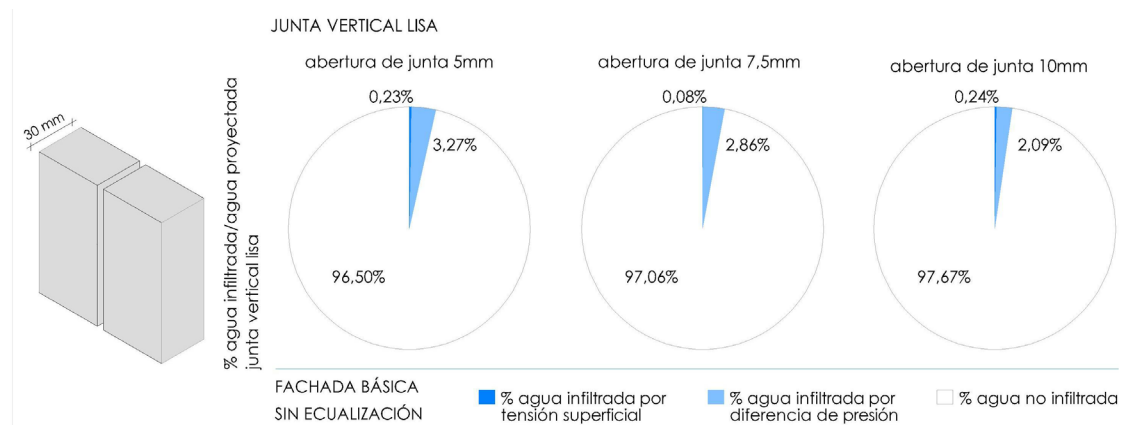
- La fuerza gravitatoria únicamente colabora en la entrada de agua en la cámara, una vez que han actuado otras fuerzas que introducen el agua y esta cae por su propio peso.
- La energía cinética actúa en presencia de la acción del viento.
- La tensión superficial actúa siempre de manera que el agua llega a penetrar en la cámara.
- La fuerza de capilaridad en junta vertical no actúa. Como se ha comentado en la observación de los ensayos, no se produce ningún menisco o bolsa de agua en la junta vertical lisa incluso con amplitudes de 5 mm.
- Las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se pueden asimilar una a la otra, son las fuerzas que producen mayor entrada de agua, pues



ambas se convierten en masas de aire que al infiltrarse por la junta, arrastran gotas de agua al interior de la cámara. Hecho que se observa durante el ensayo que produce la entrada de agua más directa en el caso del ensayo tipo 1. Las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se anulan cuando la cámara está ecualizada.



Por lo tanto, a continuación se discriminan los datos de infiltración de agua por la junta vertical según esta se produce por tensión superficial o por diferencia de presión o ráfagas de viento. Con los datos obtenidos, realizamos este análisis únicamente para la fachada básica sin ecualización ya que en la fachada ecualizada los datos de infiltración de agua son prácticamente iguales a los obtenidos en la fachada sin ecualizar, en condiciones de presión atmosférica.



Gráfica 5.3.1.5 Gráfico de porcentajes de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión en relación al agua proyectada para una fachada sin ecualizar con junta vertical lisa.

Del análisis de las gráficas deducimos que el porcentaje de agua infiltrada por tensión superficial, no alcanza el 0,25 % en ninguno de los espesores de junta planteados, correspondiendo el agua, introducida en la cámara ventilada, a las diferencias de presión o ráfagas de aire que arrastran las gotas hacia el interior de la fachada trasventilada.

5.3.2 ENSAYOS JUNTA VERTICAL ACANALADA

A continuación, en este apartado se desarrollará el estudio realizado en relación a la junta vertical acanalada. Se analiza la junta acanalada con la intención de obtener datos que nos permitan valorar la entrada de agua en las cámaras ventiladas de una fachada trasventilada de piedra según el diseño de sus cantos. De igual forma, y para poder comparar datos se han establecido de nuevo los espesores de junta vertical de 5 mm, 7,5 mm y 10 mm así como las mismas condiciones de cámara ecualizada o sin ecualizar, ambas con los estados de sobrepresión y presión atmosférica.

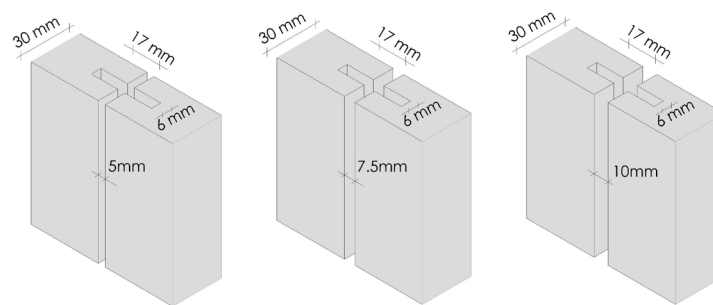


Figura 5.3.2.1 Esquema de junta vertical acanalada en sus tres amplitudes.

Una vez realizadas las acanaladuras en el canto vertical de las piedras con las dimensiones indicadas en el esquema anterior, se disponen de nuevo en el dispositivo y se realizan los ensayos desde el tipo 13 al tipo 24 que se detallan a continuación.

a. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical acanalada de 5mm.

ENSAYO TIPO 13: JUNTA VERTICAL ACANALADA 5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Se comprueba el peso de la garrafa antes del inicio del ensayo, pesando 1,46 kg.

En los primeros minutos del ensayo se aprecian algunas gotas de proyección directa por el vidrio.

Se observa que por las esquinas de la piedra, en la zona de la junta vertical no gotea casi nada al inicio, sin embargo a los 11 minutos se percibe un goteo en la esquina pero con una cadencia de 5-6 segundos.

A los 18 minutos entra otro escalón de presión de aire observándose gotas continuas proyectándose directamente en el vidrio.

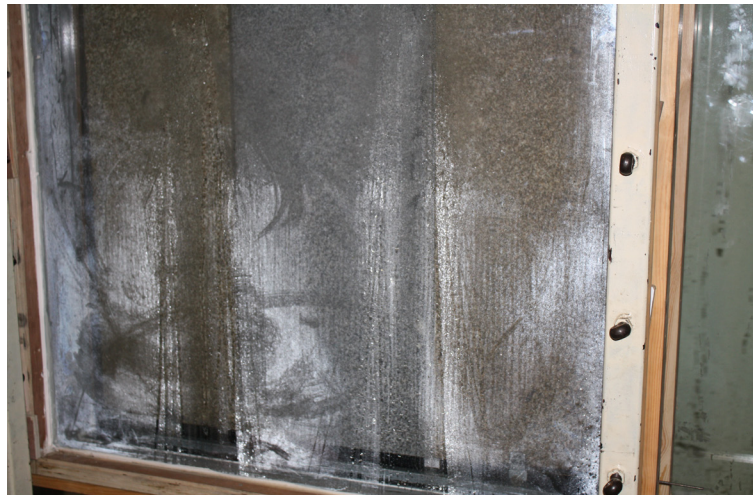


Figura 5.3.2.2 Imagen de la infiltración de agua a través de la junta vertical acanalada de 5 mm.

Se percibe igualmente, como aparecen en una de las esquinas gotas cada 4-5 segundos. De esta situación se concluye que la incidencia de la ubicación del conducto que proyecta el aire, influye en la infiltración de agua al interior de la cámara.

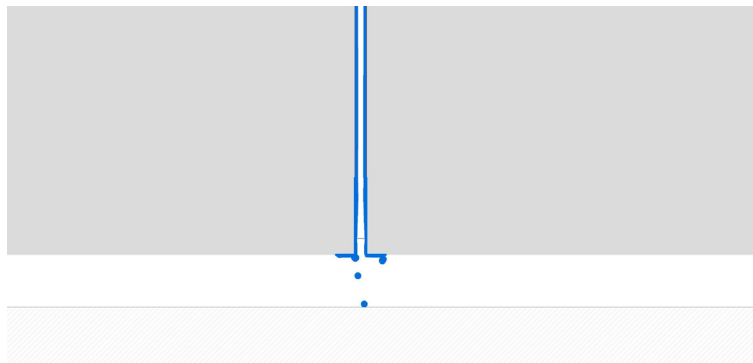


Figura 5.3.2.2 Esquema de las gotas de agua que discurre por el canto de la junta vertical y se acumulan en la esquina inferior. Vista frontal desde la cámara.

Se verifica en este momento, que por los laterales no entre nada de agua, al estar perfectamente sellado, si penetrara agua distorsionaría los resultados y se debería repetir.

Se constata a su vez, que los cantos están mojados aunque no se ve discurrir el agua por ellos.

A los 23 minutos cae una gota más continua, si bien no se produce chorro de agua proyectado.

Una vez terminado el ensayo y pesada la garrafa obtenemos una infiltración de agua de 0,24 litros.

ENSAYO TIPO 14: JUNTA VERTICAL ACANALADA 5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Se pesa la garrafa al inicio del ensayo, y se reinicia de nuevo el procedimiento al comienzo de cada ensayo, comprobando que la cámara se encuentra ventilada por los laterales del prototipo.

La garrafa pesa 1,26 Kg al inicio y transcurridos los 10 minutos no se observa en ningún momento entrada de agua. Hecho que se demuestra una vez pesada la garrafa, al concluir el ensayo, obteniéndose un peso de 1,36 Kg. Por lo tanto la infiltración es de 0,10 litros.

ENSAYO TIPO 15: JUNTA VERTICAL ACANALADA 5 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Repetimos de nuevo el procedimiento, sellando con cinta americana los orificios practicados en los laterales del dispositivo para de este modo confinar la cámara. El peso de la garrafa al inicio es de 1,36 kg y de 1,42 kg después de finalizar el ensayo no apreciándose entrada de agua.

ENSAYO TIPO 16: JUNTA VERTICAL ACANALADA 5 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos.

Al igual que en el caso anterior, no se observa durante la realización del ensayo entrada de agua en la cámara de aire, pesando la garrafa lo mismo al inicio del ensayo que a su finalización.

b. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada 5 mm.

Una vez finalizados los ensayos de la junta vertical acanalada tomamos los datos de caudal y peso de garrafas para sintetizarlos en una tabla que nos permita compararlos entre ellos.

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL ACANALADA 5mm

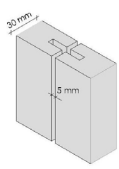
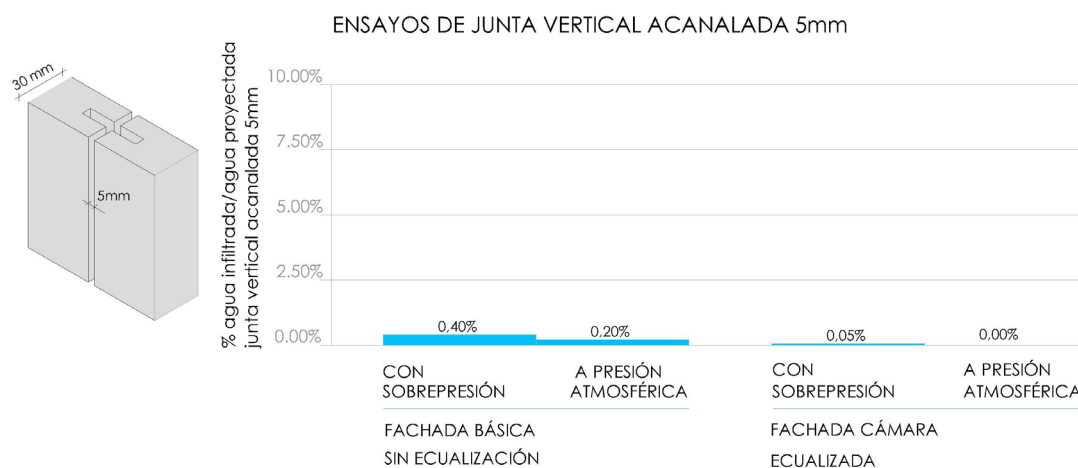
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,06	5,06	5,07	5,06
AGUA INFILTRADA (litros)	0,49	0,10	0,06	0,00
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	0,40%	0,20%	0,05%	0,00%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	0,02	0,01	0,0025	0,00
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	480	—	630	—

Tabla 5.3.2.1 Resultados de ensayos tipo 13 a 16 de fachada ventilada de junta vertical acanalada de 5 mm de espesor.

Con los datos obtenidos tras el peso de la garrafa y los archivos de recogida de caudal de agua proyectada en cada ensayo tipo, se realiza la siguiente gráfica de barras, en la que se indican los porcentajes de agua infiltrada en relación al agua proyectada.

Como podemos observar en la gráfica, la infiltración de agua es prácticamente nula, siendo un poco mayor en el caso de fachada básica sin ecualizar con sobrepresión, donde se obtiene un porcentaje de infiltración de agua de 0,40 %.



Gráfica 5.3.2.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 13 a 16 de fachada ventilada de junta vertical acanalada de 5 mm de espesor.

En situación de presión atmosférica y cámara ventilada sin ecualizar, se reduce el porcentaje de entrada de agua en la cámara en un 0,20 %, siendo nula la infiltración en los tipos de ensayo con cámara ecualizada. Al encontrarse la cámara ecualizada las diferencias de presión se anulan y por ello los resultados se asimilan a las condiciones de ensayo a presión atmosférica, independientemente del grado de confinamiento de la cámara. Las pequeñas variaciones que se producen son consecuencia de vaciados desiguales de las garrafas en las que desagua la cámara o de restos provenientes del ensayo anterior.

Estos datos son bastante singulares, ya que se minimiza sustancialmente la infiltración de agua en relación al diseño de junta acanalada. El motivo se localiza en las diferentes secciones que atraviesa el aire en su recorrido hacia la cámara. El aumento de sección en el centro del canto debido a la ranura practicada, provoca que la velocidad de aire disminuya y por tanto el agua que arrastra se precipite en vertical por este conducto, llegando pocas gotas al interior de la cámara.

c. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical acanalada de 7,5 mm.

ENSAYO TIPO 17: JUNTA VERTICAL ACANALADA 7,5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Después de girar las palometas que nos permiten ampliar la junta de 5 mm a 7,5 mm y de pesar la garrafa, 1,34 kg antes del ensayo, procedemos a observar qué sucede con el agua

proyectada en el prototipo de fachada ventilada de piedra.

A los 4 minutos, con la entrada del primer escalón de presión, se observa que se infiltra cierta cantidad de agua, por proyección directa en el cristal de la cámara, gotas que arrastradas por la presión de aire, alcanzan la cara interior de la cámara.

Por las esquinas de las piedras, en la parte inferior de la junta vertical, se observan a su vez, pequeñas gotas que se introducen en la cámara con una variación de tiempo entre 5-6 segundos.

Las gotas que alcanzan el vidrio desde el que se observa, son escasas y discontinuas, entrando con una cadencia aproximadamente de seis segundos. A los 10 minutos de inicio del ensayo, esta situación se convierte en constatación de proyección de agua sobre la cara interior de la cámara, produciéndose una entrada continua de gotas.

Sin embargo, se observa que por las esquinas de las piedras, en su parte inferior, no discurre abundantemente, únicamente se percibe una gota que desciende de forma discontinua.

A los 14 minutos, siguen proyectándose gotas en el vidrio, entra el siguiente escalón de presión y las gotas que aparecen son continuas y más rápidas, disminuyendo después su ritmo.

Antes de finalizar el ensayo, a los 21 minutos entra otro escalón y se observa de nuevo la proyección directa sobre el cristal, sin embargo, en las esquinas inferiores de la piedra no se percibe discurrir el agua, únicamente gotas adheridas.

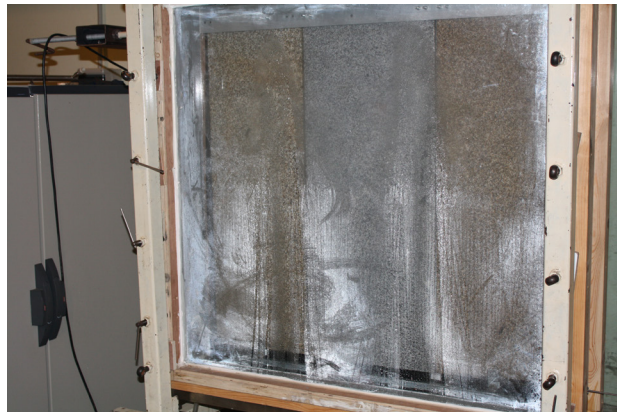
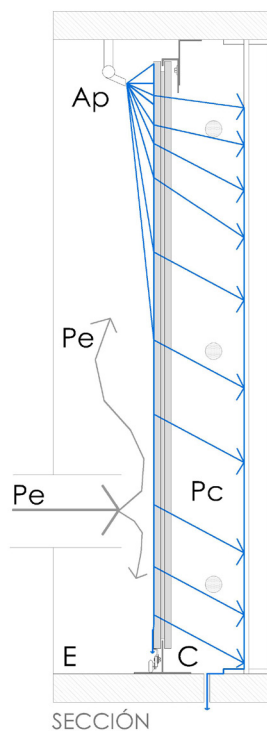


Figura 5.3.2.4 Imagen desde el interior de la cámara de la proyección del agua en el vidrio que simula la cara interior de la cámara de aire.

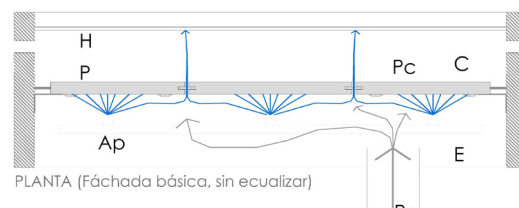


Figura 5.3.2.3 Esquemas de proyección de agua, en presencia de aire, directamente sobre el vidrio que simula la cara interior de la cámara.

ENSAYO TIPO 18: JUNTA VERTICAL ACANALADA 7,5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

La infiltración de agua es de 0,10 litros no apreciándose entrada de agua por ningún punto en concreto.

ENSAYO TIPO 19: JUNTA VERTICAL ACANALADA 7,5 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración ET: 24 minutos

De nuevo, impedimos la salida de aire por las aberturas laterales del prototipo con objeto de ecualizar la cámara. La infiltración de agua obtenida, es de 0,06 litros procedentes de pequeñas gotas en las piedras.

ENSAYO TIPO 20: JUNTA VERTICAL ACANALADA 7,5 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Tras la realización del ensayo tipo 20 la entrada de agua es nula.

d. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada 7,5 mm.

Se muestran a continuación en la siguiente tabla, los datos obtenidos de los ensayos tipo 17 a 20 recogiendo, como en los casos anteriores, las condiciones de ensayo.

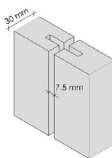
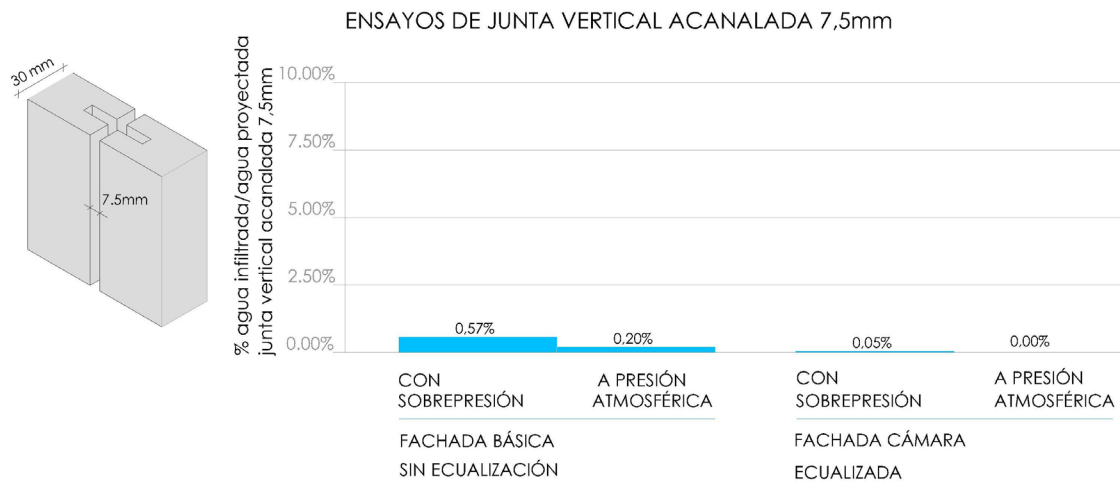
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL ACANALADA 7,5mm					
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA		
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	
	CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,06	5,08	5,06	5,06
	AGUA INFILTRADA (litros)	0,69	0,10	0,06	0,00
	AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	0,57%	0,20%	0,05%	0,00%
	CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	0,03	0,01	0,0025	0,00
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	460	—	640	—	

Tabla 5.3.2.2 Resultados de ensayos tipo 17 a 20 de fachada ventilada de junta vertical acanalada de 7,5 mm de espesor.

A continuación, realizamos una gráfica de barras para visualizar la infiltración de agua que se produce por la junta vertical acanalada de 7,5 mm de espesor.

Observamos cómo el mayor porcentaje de infiltración de agua se produce en las condiciones de cámara ventilada sin ecualizar con sobrepresión. Se obtiene así una infiltración



Gráfica 5.3.2.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 17 a 20 de fachada ventilada de junta vertical acanalada de 7,5 mm de espesor

de agua de 0,57 % , dato prácticamente despreciable. Si nos fijamos en el resto de ensayos planteados, la infiltración es todavía menor, siendo de un 0,20 % en condiciones de cámara ventilada y presión atmosférica, y nula en los dos casos de fachada con cámara ecualizada.

e. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical acanalada de 10 mm.

Antes del inicio de estos ensayos volvemos a mover las piedras, utilizando las ruedas colocadas en su parte inferior, y el sistema de anclaje que facilita a su vez que una varilla roscada y la palometa nos permitan ampliar el espesor de junta.

ENSAYO TIPO 21: JUNTA VERTICAL ACANALADA 10 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos



Figura 5.3.2.5 Imagen desde el interior de la cámara de la proyección del agua en el vidrio que simula la cara interior de la cámara de aire.

Comprobamos en un primer momento, que la cámara esté ventilada en sus laterales e iniciamos la aplicación de inicio de los escalones de presión de aire a los que someteremos el dispositivo.

Lo primero que se observa al inicio del ensayo, son las proyecciones directas de gotas de agua por la junta vertical sobre el vidrio que sustituye la cara interior de la cámara de aire.

En las esquinas inferiores de las piedras, se forman pequeñas gotas de agua a los 3 minutos, que van cayendo en el interior de la cámara.

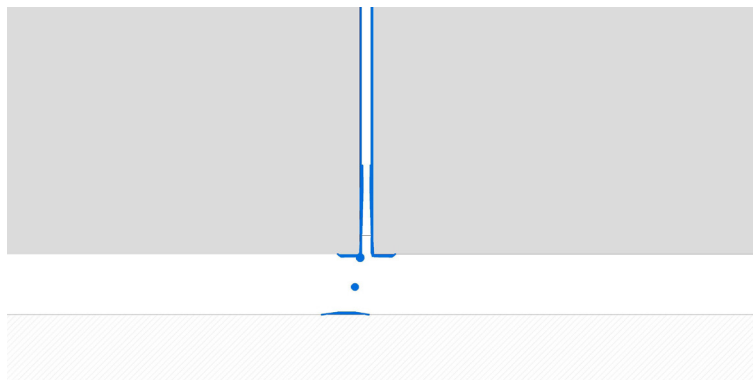


Figura 5.3.2.6 Esquema del agua que discurre por la junta vertical acanalada, vista desde el interior de la cámara.

A los 6 minutos, las gotas de las esquinas de las piedras son más constantes y podemos observar que cada 3-4 segundos aproximadamente, se introduce una gota en la cámara.

Continúan a su vez introduciéndose las gotas hasta la hoja de vidrio, y se observa igualmente que cada 2 segundos se produce un contacto de gotas con el mismo.

Esta situación aumenta a los 8 minutos de inicio del ensayo, cuando ya se ha iniciado otro escalón de presión y la proyección directa de agua sobre el cristal se produce cada segundo, aumentando la cantidad de gotas que llegan hasta él.



Figura 5.3.2.7 Imagen desde el interior de la cámara de la proyección de agua en la cara interior de la misma a través de la junta vertical acanalada de 10 mm de amplitud.

Sin embargo, se percibe como la gotera en las esquinas continúa en las mismas condiciones, o incluso merma. A los 15 minutos de inicio del ensayo, el goteo por proyección directa sobre el vidrio es continuo y seguirá así hasta la finalización del ensayo, aumentando mínimamente cada vez que entra un nuevo escalón de presión. Por las esquinas de la piedra en la zona de las juntas verticales, cae una gota a la cámara cada 3-4 segundos.

Al pesar la garrafa utilizada obtenemos una infiltración de agua de 0,9 litros.

ENSAYO TIPO 22: JUNTA VERTICAL ACANALADA 10 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFERICA. Duración: 10 minutos

Realizamos ahora el ensayo tipo 22, a presión atmosférica, durante el cual se observaron unas pequeñas gotas en la parte inferior de la piedra, en la zona de la junta vertical, obteniendo una infiltración de agua de 0,18 litros.

ENSAYO TIPO 23: JUNTA VERTICAL ACANALADA 10 mm. FACHADA ECUALIZADA. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

En el siguiente ensayo ecualizamos de nuevo la cámara. Durante su realización, no observamos prácticamente entrada de agua, únicamente pequeñas gotas en las esquinas inferiores de la piedra. Obtenemos una infiltración de agua de 0,06 litros.

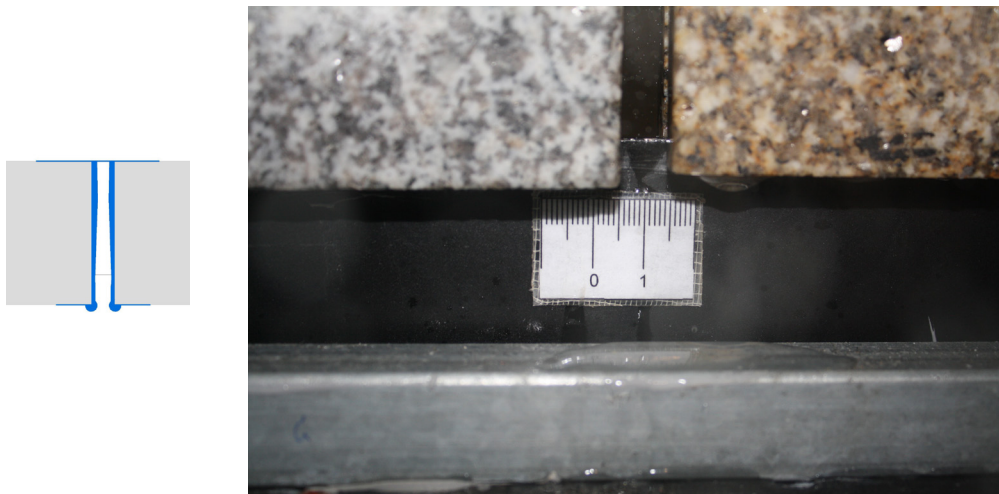


Figura 5.3.2.8 Imagen desde el interior de la cámara de la junta vertical acanalada de 10 mm de amplitud en ausencia de presión de aire.

ENSAYO TIPO 24: JUNTA VERTICAL ACANALADA 10 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFERICA. Duración: 10 minutos

Se lleva a cabo el último ensayo de este diseño de junta acanalada para 10 mm de espesor, obteniendo una entrada de agua en la cámara, prácticamente nula, de 0,06 litros.

f. Resultados e interpretación de junta vertical acanalada de 10 mm.

Recogemos en este punto de nuevo los datos de los ensayos de la junta vertical acanalada.

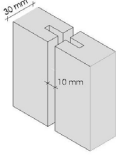
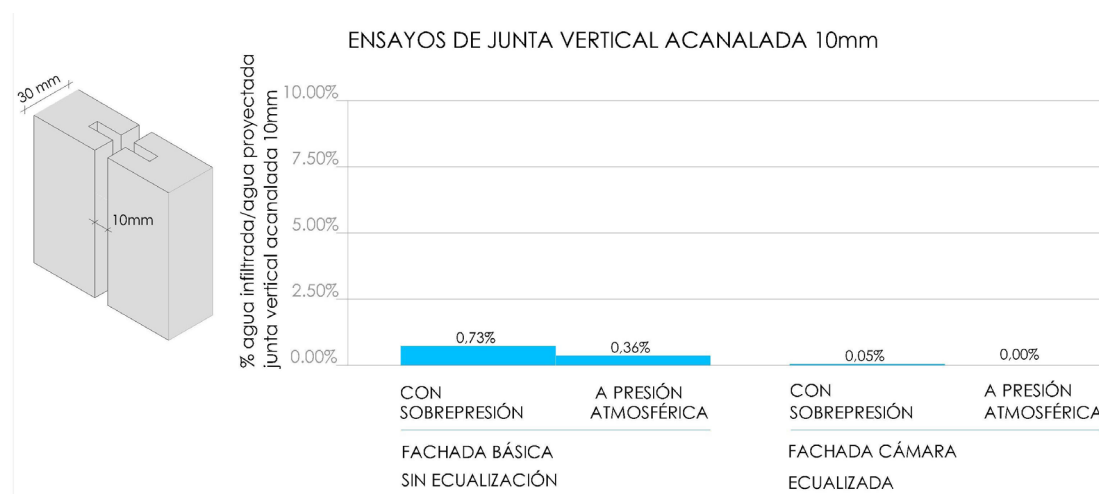
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL ACANALADA 10mm				
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,10	5,06	5,06	5,06
AGUA INFILTRADA (litros)	0,90	0,18	0,06	0,00
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	0,73%	0,36%	0,05%	0,00%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	0,04	0,02	0,0025	0,00
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	470	—	610	—

Tabla 5.3.2.3 Resultados de ensayos tipo 21 a 24 de fachada ventilada de junta vertical acanalada de 10 mm de espesor.

La presión máxima alcanzada, es inferior en la condición de cámara ventilada sin ecualizar, ya que la fuga de aire al exterior no permite que en 24 minutos se alcance una presión mayor.

Se muestra a continuación la gráfica de barras con la infiltración de agua, según se haya ecualizado o no la cámara de aire y según se encuentre a presión atmosférica o sometida a sobrepresión.



Gráfica 5.3.2.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 21 a 24 de fachada ventilada de junta vertical acanalada de 10 mm de espesor.

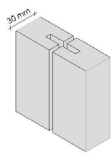
De nuevo observamos que la mayor infiltración de agua se produce en las condiciones de cámara ventilada sin ecualizar con sobrepresión, siendo el porcentaje de infiltración de un 0,73 % mientras que con la cámara sin ecualizar y a presión atmosférica este valor se reduce a la mitad a un 0,36 %.

Los casos en los que la cámara soporta una menor infiltración, son con la cámara ecualizada, siendo nula la misma. Por lo tanto, se concluye que esta sería la solución más ventajosa para la junta vertical acanalada de 10 mm de espesor. Sin embargo la cámara ecualizada raras veces se realiza en la construcción ordinaria, hecho que en este tipo de junta es indiferente pues la infiltración con la cámara sin ecualizar y a sobrepresión, que es la forma mas habitual de construir las fachadas ventiladas, es muy baja.

5.3.2.1 COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL ACANALADA

La finalidad de estos ensayos es obtener datos de infiltración de agua en la cámara de una fachada ventilada según el diseño de las juntas verticales acanaladas y el espesor de las mismas. Se muestra a continuación una tabla comparativa de los datos relativos a los tres espesores de junta vertical acanalada.

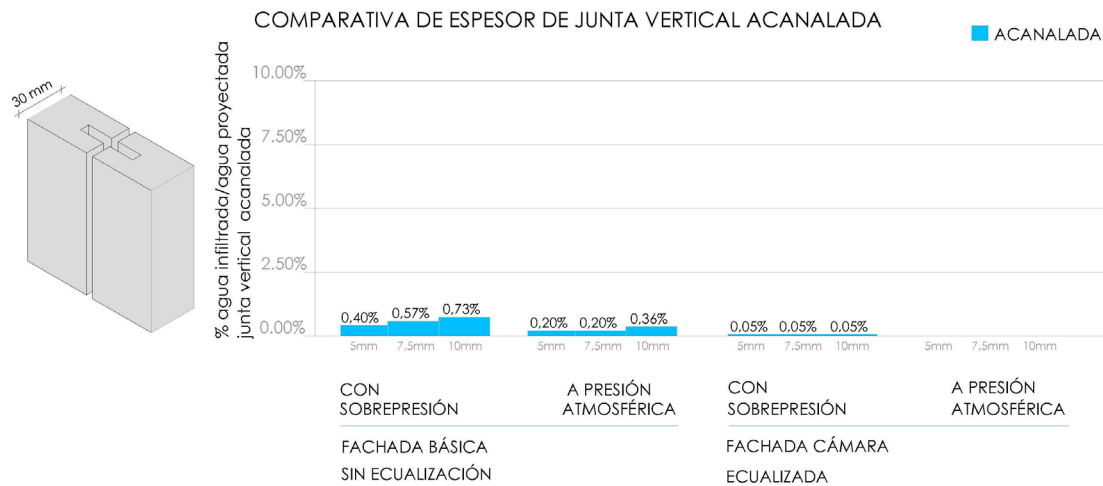
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL ACANALADA



		FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
		ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5	5,06	5,06	5,07	5,06
	7,5	5,06	5,08	5,06	5,06
	10	5,10	5,06	5,06	5,06
AGUA INFILTRADA (litros)	5	0,49	0,10	0,06	0,00
	7,5	0,69	0,10	0,06	0,00
	10	0,90	0,18	0,06	0,00
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	5	0,40%	0,20%	0,05%	0,00%
	7,5	0,57%	0,20%	0,05%	0,00%
	10	0,73%	0,36%	0,05%	0,00%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	5	0,02	0,01	0,0025	0,00
	7,5	0,03	0,01	0,0025	0,00
	10	0,04	0,02	0,0025	0,00
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	5	480	—	630	—
	7,5	460	—	640	—
	10	470	—	610	—

Tabla 5.3.2.4. Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical acanalada de 5, 7,5 y 10 mm de espesor.

La presión alcanzada en cada tipo de junta no varía sustancialmente, produciéndose picos de presión que oscilan en los últimos minutos entre los 450 y 490 Pa. En la tabla se recogen los valores que al menos se reproducen dos veces, siguiendo un mismo criterio en todos los ensayos tipo sometidos a sobrepresión realizados.



Gráfica 5.3.2.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical acanalada.

Como se puede observar, la entrada de agua es prácticamente nula. Con sobrepresión se llega a un porcentaje de 0,73 % de agua infiltrada en relación al agua proyectada con junta de 10 mm, siendo solo un 0,33% superior a la junta de 5 mm.

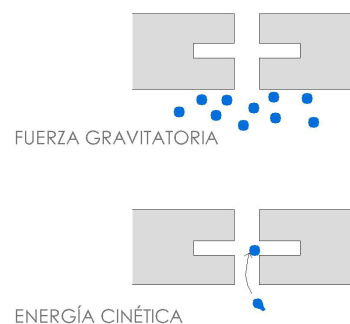
La explicación a estos datos, radica en que el agua introducida por el viento en su movimiento hacia la cámara cae por gravedad cuando la junta se acanala ya que se incrementa la sección en ese punto y el agua pierde velocidad. Así pues cae en vertical sin llegar a penetrar prácticamente en la cámara de aire, y sin mostrar diferencias reseñables en función de la amplitud de la junta.

La presión de aire máxima alcanzada se produce en la junta de 5 mm de espesor llegando a los 480 Pa, con la cámara sin ecualizar.

Con cámara ecualizada, la entrada de agua es prácticamente nula. No hay movimiento de aire y el agua que llega hasta la junta por tensión superficial, cae en vertical por la acanaladura por efecto de la gravedad.

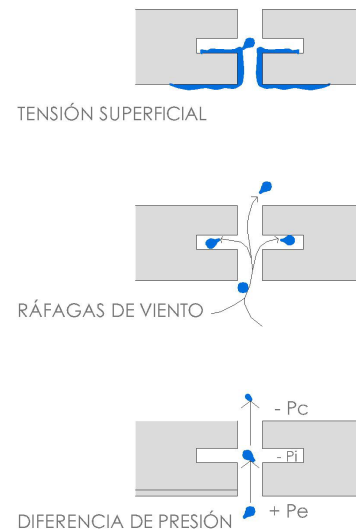
A raíz de los resultados obtenidos podemos analizar cómo actúan las fuerzas definidas por JK. Garden en la infiltración de agua en una cámara de aire, en el caso de junta vertical acanalada.

- La fuerza gravitatoria solo colabora en la entrada de agua en la cámara, una vez que han actuado otras fuerzas que introducen el agua y esta cae por su propio peso.
- La energía cinética actúa en presencia de la acción del viento.
- La tensión superficial actúa siempre de manera que el agua llega a penetrar en la cámara a través de la acanaladura.
- La fuerza de capilaridad en junta vertical



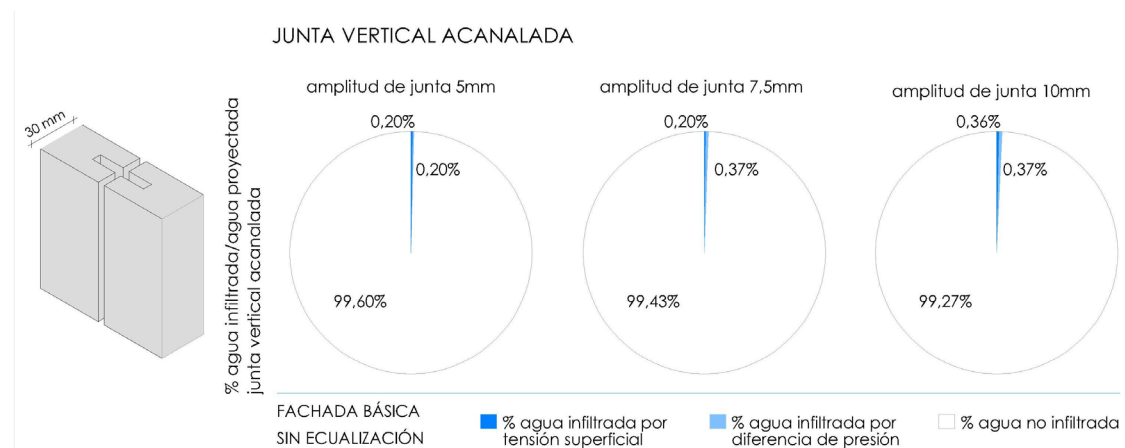
no actúa. Como se ha comentado en la observación del ensayo, no se produce ningún menisco de agua en la junta vertical incluso para amplitudes de 5 mm.

- Las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se asimilan una a la otra y son las fuerzas que producen mayor entrada de agua, pues ambas se convierten en masas de aire que al infiltrarse por la junta arrastran gotas de agua al interior de la cámara. Las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se anulan cuando la cámara está ecualizada.



Las gráficas muestran el recorrido del agua a través de la junta y como la diferencia de sección a través de ella provoca una disminución en la velocidad del aire con la consecuente caída de la gota en ese punto.

A continuación, se discriminan los datos de infiltración de agua por la junta según esta se produzca por tensión superficial, o por diferencia de presión o ráfagas de viento. Se realiza este análisis únicamente para la fachada básica sin ecualización, ya que en la fachada ecualizada los datos de infiltración de agua son prácticamente nulos.



Gráfica 5.3.2.5 Porcentajes de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión en relación al agua proyectada para una fachada sin ecualizar con junta vertical acanalada.

El porcentaje de agua infiltrada debido a tensión superficial o a las diferencias de presión y ráfagas de viento es muy similar en los tres espesores de junta planteados, siendo prácticamente igual el porcentaje introducido en condiciones de sobrepresión que de presión atmosférica. Los datos se consideran despreciables debido a su escasa magnitud.

5.3.3 ENSAYOS JUNTA VERTICAL REBAJADA

El siguiente y último diseño de junta vertical propuesto para el desarrollo de esta investigación, es el de la junta vertical rebajada con los tres espesores definidos anteriormente, 5, 7,5 y 10 mm.

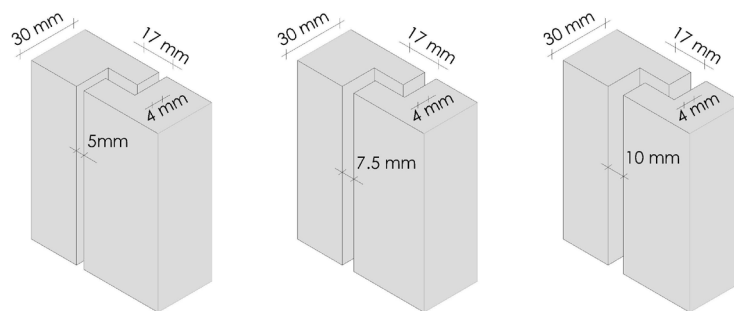


Figura 5.3.3.1 Esquema de diseño de junta vertical rebajada para 5, 7,5 y 10 mm de espesor.

De nuevo se ensayarán los tres espesores de junta y se repetirán las circunstancias de ecualización o no de cámara con sobrepresión y presión atmosférica.

a. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical rebajada de 5 mm.



Figura 5.3.3.2 Vista frontal desde el interior de la cámara de junta vertical rebajada de 5 mm.

ENSAYO TIPO 25: JUNTA VERTICAL REBAJADA 5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

A los 5 minutos de inicio del ensayo, se observan unas pequeñas gotas casi imperceptibles caer por la junta vertical. Sin embargo en el apoyo de la piedra en el perfil en T invertido se observan hilos de agua que se desplazan desde la junta por tensión superficial.

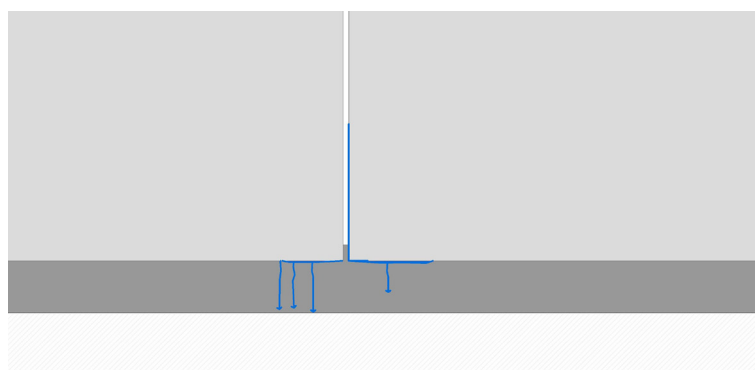


Figura 5.3.3.3 Esquema de líneas de agua por perfil en T invertido. Vista frontal desde el interior de la cámara.

Transcurridos 8 minutos desde el inicio del ensayo se percibe la entrada de otro escalón de presión de aire. Seguimos apreciando únicamente entrada de agua en la cámara a través de las líneas de agua que observamos en el perfil en T inferior, por la zona de apoyo de los aplacados de piedra. Sin embargo por los cantos de la junta no se aprecia caída de agua, solamente se observa húmeda a dos tercios de altura desde la esquina inferior en la junta de la piedra.



Figura 5.3.3.4 Vista del agua adherida por tensión superficial en la junta rebajada de 5 mm de espesor.

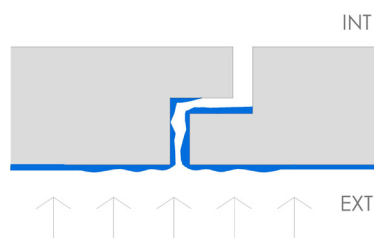


Figura 5.3.3.4 Esquema de infiltración de agua por tensión superficial en junta rebajada de 5 mm de espesor. Vista en planta.

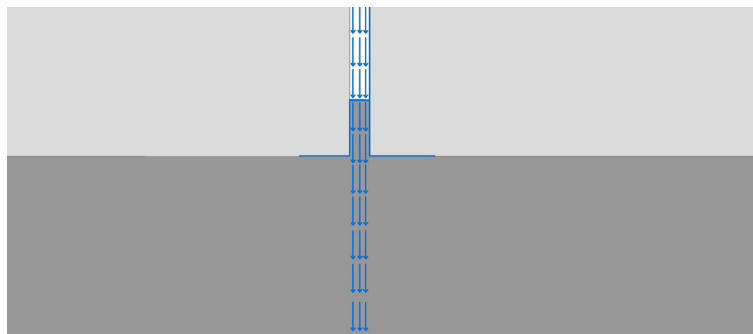


Figura 5.3.3.5 Esquema de infiltración de agua por quiebro de junta vertical rebajada de 5 mm. Vista frontal desde interior de la cámara de aire.

A los 11 minutos se inicia la entrada de otro escalón de presión y se aprecia como discurre el agua por la junta con mayor fluidez, debido al rebaje de la misma, tal y como se muestra en la figura anterior.

Transcurridos 18 minutos se observa un flujo continuo de agua por la junta, se percibe perfectamente cómo se estanca el agua en el perfil inferior y rebosa continuamente hacia el interior de la cámara.

Casi finalizando el ensayo, a los 21 minutos, se inicia otro escalón de presión de aire y se observa la entrada de agua continuamente por la junta, en este caso rebosa aproximadamente un centímetro en el interior de la cámara.

A los 23 minutos de inicio del ensayo, se percibe un chorro de agua proyectado en las esquinas inferiores de la piedra.

Al finalizar el ensayo obtenemos una infiltración de agua en la cámara de 3,14 litros.

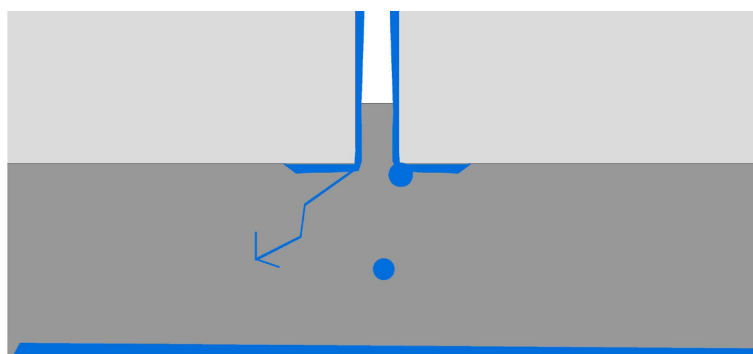


Figura 5.3.3.6 Esquema proyección de agua en esquina de junta vertical rebajada de 5 mm. Vista frontal desde interior de la cámara de aire.

ENSAYO TIPO 26: JUNTA VERTICAL REBAJADA 5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFERICA. Duración: 10 minutos

No se aprecia entrada de agua a simple vista. Al finalizar el ensayo obtenemos una infiltración de agua en la cámara de 0,15 litros.

ENSAYO TIPO 27: JUNTA VERTICAL REBAJADA 5 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos.

No se aprecia entrada de agua, únicamente se empaña el vidrio del dispositivo a los 12,42 minutos de iniciado el ensayo. Al finalizar el ensayo obtenemos una infiltración de agua en la cámara de 0,24 litros.

ENSAYO TIPO 28: JUNTA VERTICAL REBAJADA 5 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

No se aprecia entrada de agua a simple vista. Al finalizar el ensayo obtenemos una infiltración de agua en la cámara de 0,16 litros.

b. Resultados e interpretación. Junta vertical rebajada 5 mm.

Una vez terminados los ensayos de tipo 25 a tipo 28 se recogen en la tabla mostrada a continuación los datos obtenidos de caudal de agua proyectado, infiltración de agua en la cámara, presión máxima alcanzada etc...

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL REBAJADA 5mm

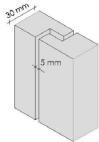
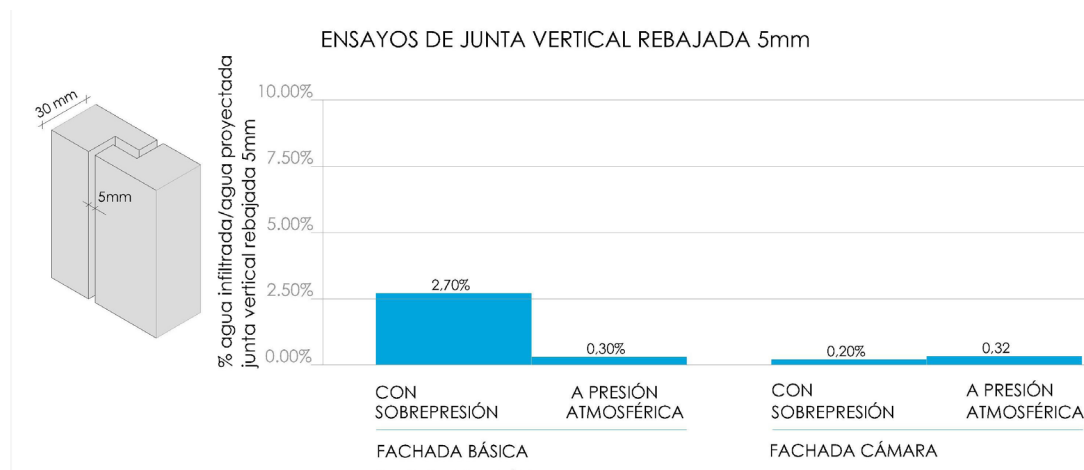
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	4,85	5,08	5,06	5,06
AGUA INFILTRADA (litros)	3,14	0,15	0,24	0,16
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	2,70%	0,30%	0,20%	0,32%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	0,13	0,02	0,01	0,02
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	440	—	640	—

Tabla 5.3.3.1 Resultados de ensayos tipo 25 a 28 de fachada ventilada de junta vertical rebajada de 5 mm de espesor.

Observamos cómo debido al diseño de la junta vertical rebajada y a la estrechez que supone el conducto de 4 mm, que se genera con los rebajes de los cantos, la máxima presión de aire alcanzada con la cámara sin ecualizar no consigue superar los 440 Pa, mientras que en la cámara ecualizada llega hasta los 640 Pa. La máxima presión de aire se alcanza en ambos casos transcurridos 23 minutos desde el inicio del ensayo.

La máxima infiltración de agua en la cámara del prototipo de fachada ventilada con juntas verticales rebajadas de 5 mm de espesor es del orden de 2,70 % en relación al agua proyectada en las condiciones de cámara sin ecualizar y sobrepresión, que son las condiciones que emulan mejor la realidad de la construcción que se realiza en fachadas ventiladas.



Gráfica 5.3.1.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 25 a 28 de fachada ventilada de junta vertical rebajada de 5 mm de espesor.

La menor infiltración de agua en la cámara, que se puede considerar prácticamente nula, es del orden del 0,30 % en relación al agua proyectada y sucede en los casos en los que no hay presión de aire o esta se anula debido a la ecualización de la cámara.

En la anterior gráfica de barras podemos observar la incidencia de cada una de los tipos de ensayos planteados.

c. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical rebajada de 7,5 mm.



Figura 5.3.3.8 Imagen de junta vertical rebajada de 7,5 mm.

Se realizan a continuación los ensayos de juntas verticales rebajadas de 7,5 mm de espesor.

ENSAYO TIPO 29: JUNTA VERTICAL REBAJADA 7,5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

En el primer escalón de presión, no se aprecia entrada de agua, únicamente unas pequeñas gotas en el perfil en T invertido.

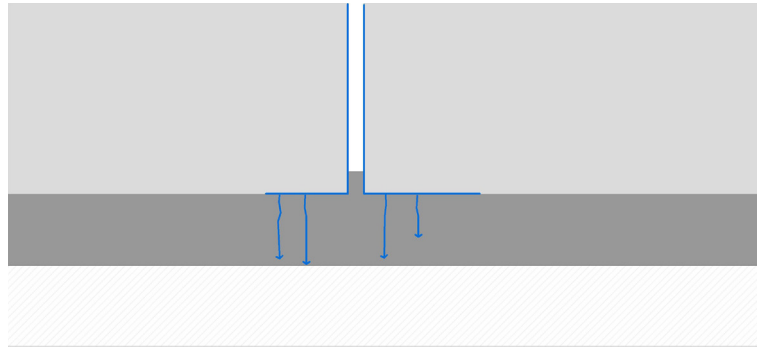


Figura 5.3.3.8 Esquema de líneas de agua en el perfil que sustenta los aplacados de juntas verticales rebajadas de 7,5 mm.



Figura 5.3.3.9 Imagen de hilos de agua en el perfil que sustenta los aplacados de juntas verticales rebajadas de 7,5 mm.

En el tercer escalón de presión, a los 9 minutos de inicio del ensayo, solo se observan gotas en el perfil inferior que sustenta las piedras, se percibe a su vez un ligero movimiento en el agua estancada, en la parte superior del perfil.

En el cuarto escalón, a los 12 minutos, se ve discurrir el agua por la junta con más rapidez, apreciándose a dos tercios de la altura total de la misma.

Transcurridos 15 minutos entra otro escalón de presión de aire, en este caso el agua discurre por las juntas como por un canal, apoyándose en la pared interior del rebaje del canto.

El siguiente escalón entra a los 19 minutos aproximadamente, y empezamos a advertir cómo el agua se filtra a más de dos tercios de la altura total de la junta.

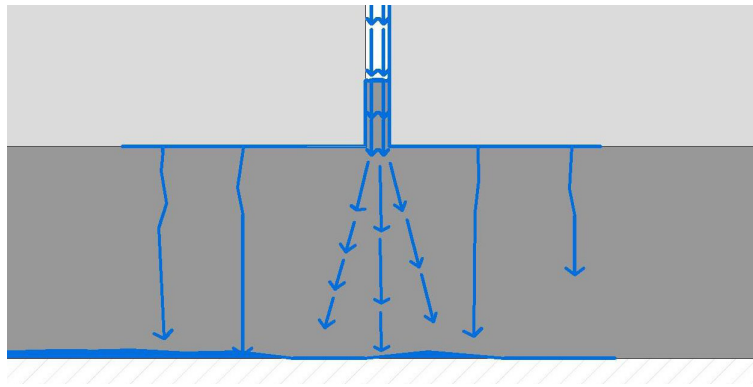


Figura 5.3.3.10 Esquema de canal de agua en junta rebajada. Vista frontal desde el interior de la cámara.



Figura 5.3.3.11 Imagen del agua que discurre por la junta vertical rebajada de 7,5 mm. Vista desde el interior de la cámara.

A los 23 minutos de inicio del ensayo el agua discurre claramente desde la parte superior de la junta. Una vez finalizado se obtiene una infiltración de agua de 3,34 litros.



Figura 5.3.3.12 Imagen del agua discurriendo por la junta vertical rebajada.

ENSAYO TIPO 30: JUNTA VERTICAL REBAJADA 7,5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFERICA. Duración: 10 minutos

No se aprecia entrada de agua por las juntas en el transcurso del ensayo. Se obtiene una infiltración de agua de 0,30 litros.

ENSAYO TIPO 31: JUNTA VERTICAL REBAJADA 7,5 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos.

No se aprecia entrada de agua a simple vista.

Una vez finalizado el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 0,42 litros.

ENSAYO TIPO 32: JUNTA VERTICAL REBAJADA 7,5 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFERICA. Duración: 10 minutos.

No se aprecia entrada de agua a simple vista. Una vez finalizado el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 0,16 litros.

d. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa 7,5 mm.

Una vez finalizados los ensayos desde el tipo 29 al tipo 32, se elabora a continuación una tabla con los resultados de los mismos.

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL REBAJADA 7,5mm

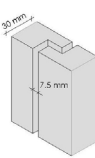
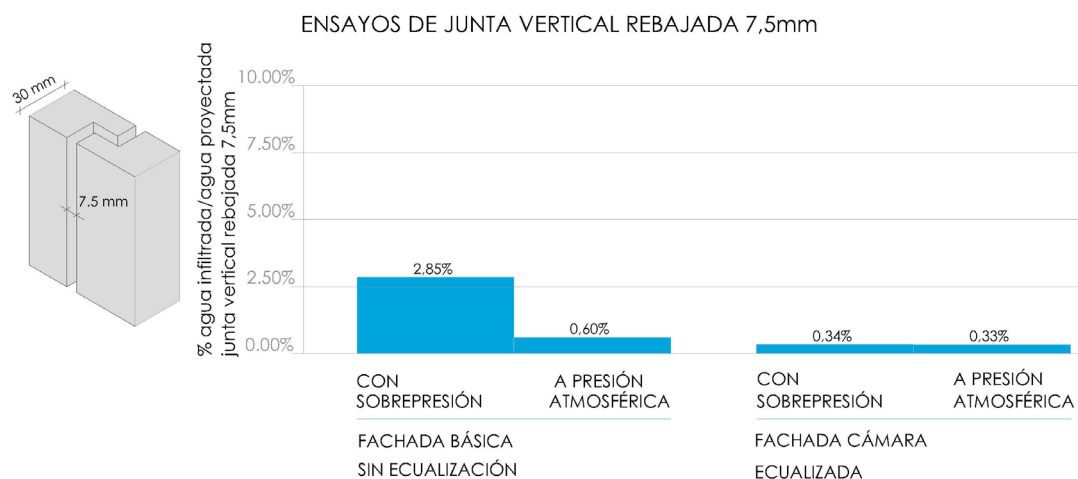
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	4,87	5,00	5,08	4,81
AGUA INFILTRADA (litros)	3,34	0,30	0,42	0,16
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	2,85%	0,60%	0,34%	0,33%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	0,14	0,03	0,02	0,02
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	440	—	600	—

Tabla 5.3.3.2 Resultados de ensayos tipo 29 a 32 de fachada ventilada de junta vertical rebajada de 7,5 mm de espesor.

Los datos de presión de aire máxima alcanzada son superiores con la cámara ecualizada ya que no se exfiltra el aire proyectado.

La máxima infiltración de agua se produce debido a las diferencias de presión de aire entre la cámara y el exterior, alcanzando un valor de 2,85 % en relación al agua proyectada.



Gráfica 5.3.3.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 29 a 32 de fachada ventilada de junta vertical rebajada de 7,5 mm de espesor.

Los valores de infiltración de agua, disminuyen notablemente cuando la cámara está ecualizada o simplemente no actúa la presión de aire, siendo los valores alcanzados del orden del 0,34 % con cámara ecualizada y de un 0,60 % con cámara sin ecualizar, variaciones que a este nivel de infiltración de agua en la cámara se consideran despreciables.

e. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical rebajada de 10 mm.

Para continuar con la realización de ensayos de junta vertical rebajada se procede a continuación a ampliar el espesor de la misma a 10 mm, mediante las varillas ubicadas en el lateral del cajón, las cuales posibilitan, mediante las ruedas a las que están atornilladas, el deslizamiento de las piedras en el interior del prototipo.

ENSAYO TIPO 33: JUNTA VERTICAL REBAJADA 10 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos



Figura 5.3.3.13 Imagen de líneas de agua en el perfil que sustenta los aplacados de juntas verticales rebajadas de 10 mm.

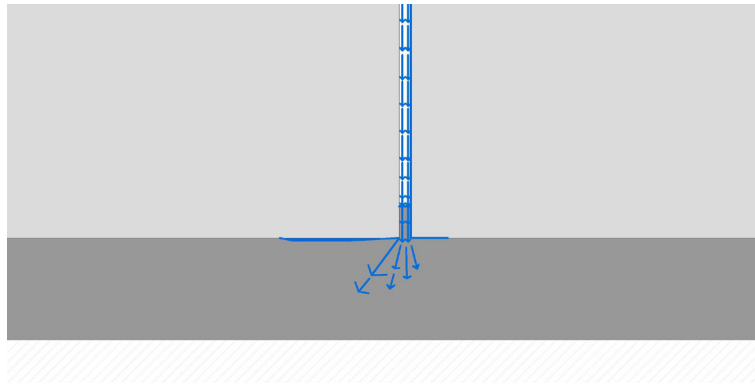


Figura 5.3.3.14 Esquema del agua que discurre por la junta vertical rebajada. Vista frontal desde el interior de la cámara.

A los 5 minutos del inicio del ensayo, se aprecia un canal de agua por la junta rebajada, acompañado de las líneas de agua en el perfil, que ya se detectaron al comienzo.

A los 6 minutos el agua discurre claramente desde la mitad de la junta vertical rebajada.

Cuando se introduce otro escalón de presión de aire (11 minutos) se ve discurrir el agua por la junta a mayor velocidad.

Se comprueba que no entra nada de agua por los laterales del dispositivo, al estar perfectamente sellado.

A los 14 minutos se inicia otro escalón de presión de aire, produciéndose en este caso un chorro de agua continuo por la junta, advirtiéndonos de que el agua entra en la junta desde su parte superior.



Figura 5.3.3.15 Imagen del agua que discurre por la junta vertical rebajada de 10 mm. Vista frontal desde el interior de la cámara.

A los 21 minutos, cuando entra el siguiente escalón de presión de aire, el agua se presenta de forma continuada en el perfil inferior.

Una vez finalizado el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 3,36 litros.

ENSAYO TIPO 34: JUNTA VERTICAL REBAJADA 10 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFERICA. Duración: 10 minutos

No se aprecia entrada de agua a simple vista. Únicamente pequeñas gotas adheridas al perfil que permanecen sin movimiento a los 3,40 minutos.

Sigue sin observarse movimiento del agua a los 6 minutos de iniciado el ensayo. Una vez finalizado obtenemos una infiltración de agua de 0,20 litros.

ENSAYO TIPO 35: JUNTA VERTICAL REBAJADA 10 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Únicamente se aprecian unas gotas en el perfil inferior. Una vez finalizado el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 0,70 litros.

ENSAYO TIPO 36: JUNTA VERTICAL REBAJADA 10 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFERICA. Duración: 10 minutos

No se aprecia entrada de agua por la junta, una vez finalizado el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 0,26 litros.

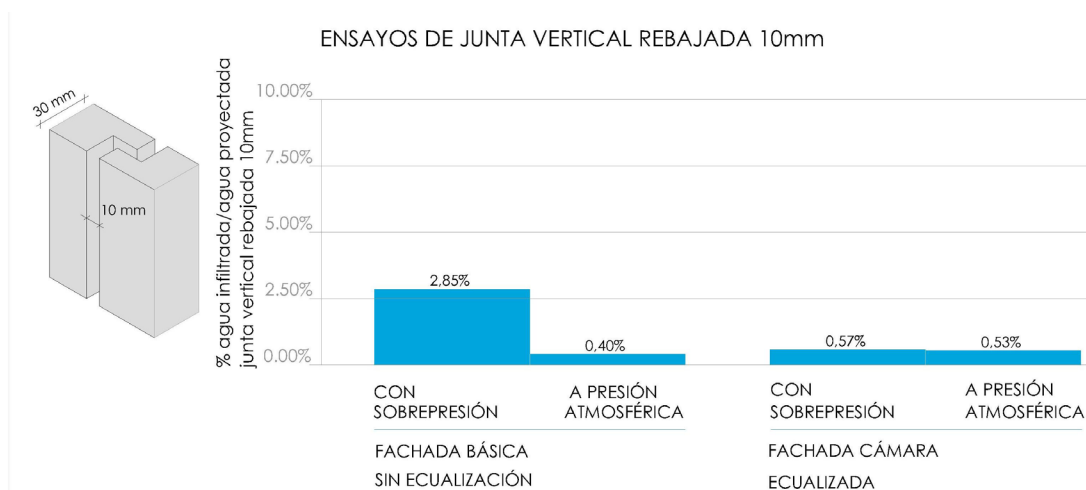
f. Resultados e interpretación. Junta vertical rebajada 10mm.

Finalizados los ensayos de la junta vertical rebajada de 10mm de espesor recogemos los datos en una tabla para posteriormente analizarlos.

De los archivos de datos recogemos el caudal de agua proyectada en cada ensayo tipo, para poder obtener el agua infiltrada en relación al agua proyectada. De esta forma mostramos en la tabla a continuación, los datos del agua en litros recogida al final de cada ensayo, al final de los 24 minutos que contemplan los ensayos a sobrepresión y de los 10 minutos que conlleva realizar los ensayos a presión atmosférica, con cámara ecualizada y sin ecualizar.

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL REBAJADA 10mm				
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	4,90	5,14	5,09	4,91
AGUA INFILTRADA (litros)	3,36	0,20	0,70	0,26
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	2,85%	0,40%	0,57%	0,53%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	0,14	0,02	0,03	0,03
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	450	—	600	—

Tabla 5.3.3.3 Resultados de ensayos tipo 33 a 36 de fachada ventilada de junta vertical rebajada de 10 mm de espesor.



Gráfica 5.3.3.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 33 a 36 de fachada ventilada de junta vertical rebajada de 10 mm de espesor.

La infiltración de agua es de un 2,85 % con cámara sin ecualizar y a sobrepresión, sustancialmente diferente al caso de cámara también sin ecualizar pero a presión atmosférica que es de un 0,40 %. Este último caso, es la condición en la que se produce menor infiltración de agua, aunque no muy inferior a la producida con cámara ecualizada, obteniendo una infiltración con sobrepresión de 0,57 % y de 0,53 % a presión atmosférica. Estas tres situaciones casi se podrían igualar en cuanto a datos ya que al estar la cámara ecualizada aunque se someta el dispositivo a sobrepresión esta se estabiliza casi instantáneamente y no se produce flujo de agua hacia el interior de la cámara debido a la acción del viento.

5.4.3.1 COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL REBAJADA

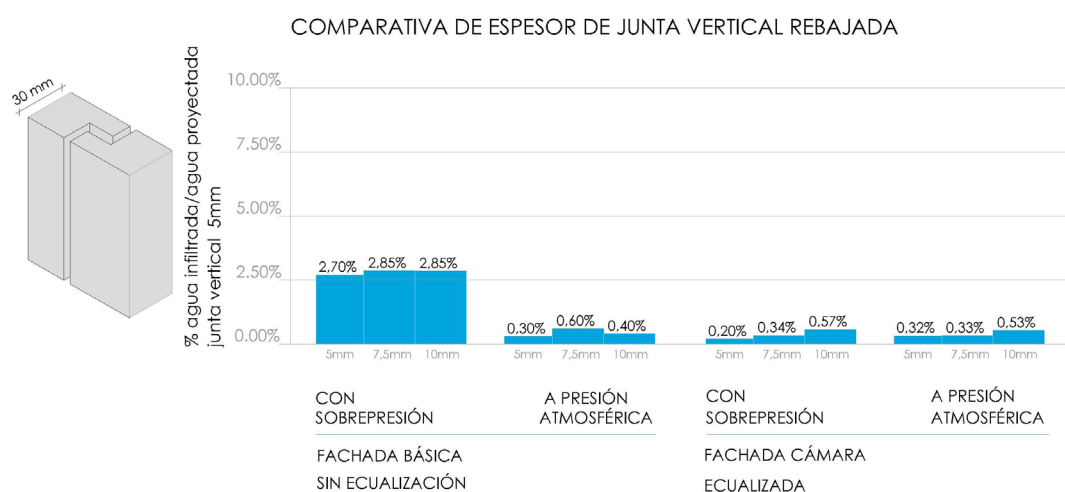
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL REBAJADA

		FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
		ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5	4,85	5,08	5,06	5,06
	7,5	4,87	5,00	5,08	4,81
	10	4,90	5,14	5,09	4,91
AGUA INFILTRADA (litros)	5	3,14	0,15	0,24	0,16
	7,5	3,34	0,30	0,42	0,16
	10	3,36	0,20	0,70	0,26
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	5	2,70%	0,30%	0,20%	0,32%
	7,5	2,85%	0,60%	0,34%	0,33%
	10	2,85%	0,40%	0,57%	0,53%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	5	0,13	0,02	0,01	0,02
	7,5	0,14	0,03	0,02	0,02
	10	0,14	0,02	0,03	0,03
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	5	440	—	640	—
	7,5	440	—	600	—
	10	450	—	600	—

Tabla 5.3.3.4. Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical rebajada de 5, 7.5 y 10 mm de espesor.

Para poder establecer qué espesor de junta es el más satisfactorio, se comparan los datos obtenidos en cada uno de los ensayos realizados para junta vertical rebajada de 5 mm, 7,5 mm y 10 mm de espesor. A partir de estos podremos analizar en qué situaciones se producen las infiltraciones más favorables.

Con los datos obtenidos realizamos una gráfica que refleja el porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada para cada espesor de junta y para cada una de las situaciones marcadas en el inicio de la investigación. Cámara ecualizada y sin ecualizar y situación de presión atmosférica y sobrepresión en ambos casos.



Gráfica 5.3.3.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical rebajada.

Como podemos observar, la mayor entrada de agua se produce con cámara sin ecualizar y sobrepresión que es el caso más usual de construcción, ya que siempre hay que suponer la existencia de aire, sobre todo en zonas como Galicia. La diferencia de entrada de agua según el espesor de junta sólo varía en un 0,15 %, siendo la menor de un 2,70 %, en relación al agua proyectada, para un espesor de junta de 5 mm.

Los valores de infiltración de agua son prácticamente idénticos, para las tres amplitudes de junta, debido a que el diseño de la misma produce un canal en todas ellas del mismo espesor (4mm), por el cual la velocidad del aire aumenta arrastrando más cantidad de agua.

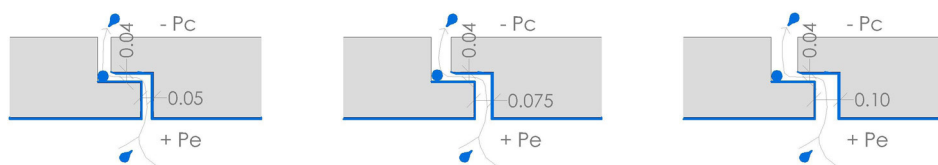
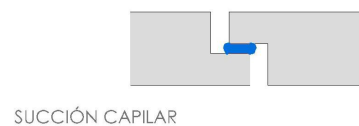
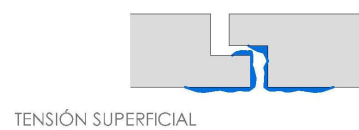
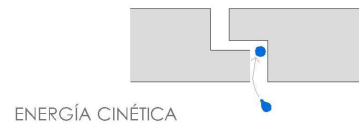
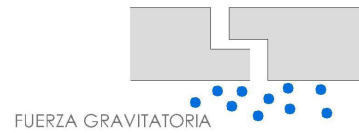


Figura 5.3.3.16 Esquema del movimiento del agua a través de la junta vertical rebajada en los tres espesores estudiados, 5, 7,5 y 10 mm.

Al igual que en los otros diseños de juntas, a continuación analizaremos que fuerzas están actuando en la infiltración de agua en la cámara.

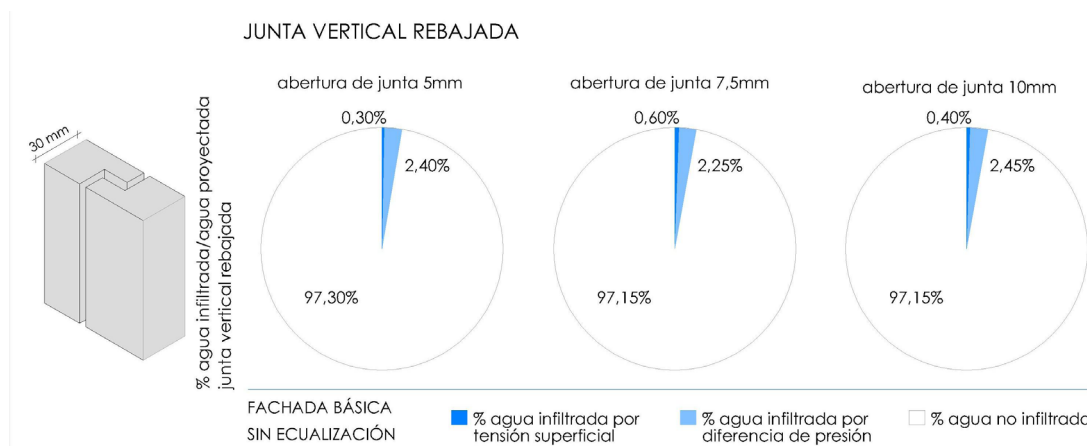
- La fuerza gravitatoria y la energía cinética no introduce el agua en la cámara directamente .
- La tensión superficial se ve obstaculizada por el canal de 4 mm en el que se produce tensión capilar, que introduce parte de agua en la cámara, debido a que en ese eje se encuentra el perfil en T que sujeta las piedras por su parte inferior y que genera a su vez el eje de separación con la cámara de aire.
- Las diferencias de presión y ráfagas de viento son las fuerzas que infiltran el agua en la cámara. El viento aumenta su velocidad al pasar por el estrechamiento que se produce en el rebaje de la junta, arrastrando gotas de agua hacia el interior.



Como se observa en los datos de los ensayos tipo, de cámara sin ecualizar y sobrepresión los resultados de infiltración son prácticamente iguales, independientemente del espesor, siendo solo en un 0,05 % inferior a la junta de 5mm. Se concluye de este dato, que la estrechez del conducto generado en el rebaje de la junta, que es el mismo para los tres espesores aunque de distinta longitud, es la que origina que la velocidad del aire, que es la misma al inicio, arrastre la misma cantidad de agua.

La infiltración de agua en el resto de las hipótesis es prácticamente nula al no existir diferencia de presión entre el exterior y la cámara, ni acción del viento.

A continuación reflejamos en la siguiente gráfica únicamente los resultados con cámara sin ecualizar, por considerar que son los datos a tener en cuenta para mejorar el sistema constructivo.

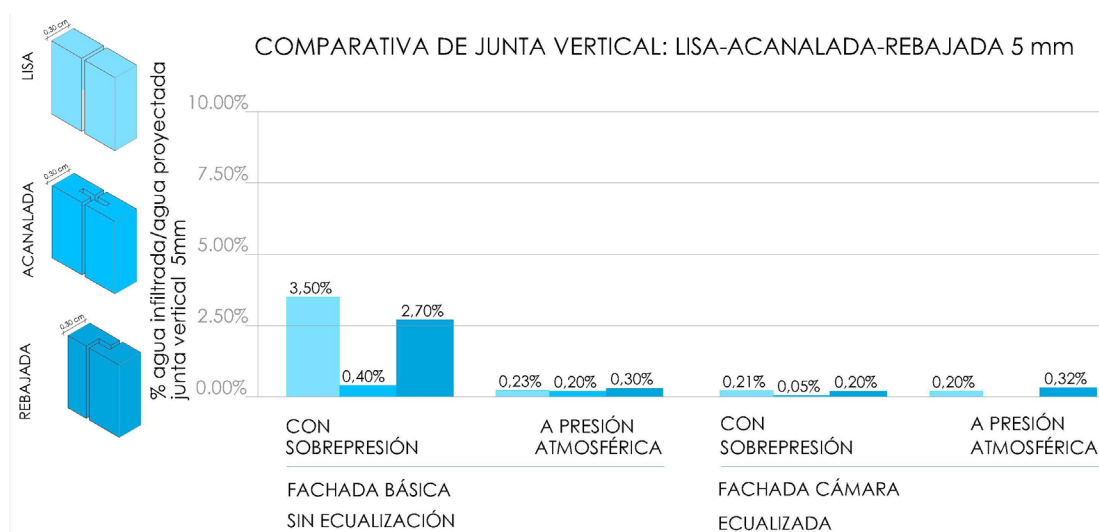


Gráfica 5.3.3.5 Porcentaje de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión, en relación al agua proyectada, para una fachada sin ecualizar con junta vertical rebajada.

Como se observa en la gráfica, la mayor infiltración de agua se produce por diferencia de presión. Lo relevante, es la proporción de agua no infiltrada respecto a la infiltrada, dejando constancia en este caso que la junta vertical rebajada es un sistema que no infiltra agua en cantidades que se puedan considerar importantes.

5.3.4. COMPARATIVA DE DISEÑOS DE JUNTAS VERTICALES: LISA, ACANALADA Y REBAJADA.

Como parte final de este bloque de ensayos de junta vertical lisa, acanalada y rebajada, y una vez terminados y analizados individualmente los ensayos, según su diseño de junta, queda pues compararlos para poder establecer qué diseño y espesor de junta vertical es el más favorable. En primer término contrastaremos las tres juntas verticales, lisa, acanalada y rebajada, para un espesor de junta de 5 mm.



Gráfica 5.3.4.1 Comparativa de agua infiltrada en relación al agua proyectada en prototipo de fachada ventilada con junta vertical según diseño de 5 mm.

Como se observa en la gráfica, la menor infiltración para amplitudes de 5 mm, se produce prácticamente por igual para cualquier diseño de junta, en las condiciones de presión atmosférica o cámara ecualizada a sobrepresión, con valores de 0,32% máximo de infiltración de agua en relación al agua proyectada y nula en el diseño de junta acanalada.

Sin embargo nos encontramos que se genera únicamente un 0,10 % más de infiltración de agua, comparado con los datos anteriores, con la junta vertical acanalada de 5 mm en condiciones de cámara sin ecualizar y sobrepresión. Dato muy significativo y cuya explicación radica en que el agua introducida por el viento en su movimiento hacia la cámara, discurre por gravedad cuando la junta se acanala, ya que se incrementa la sección en ese punto y el agua pierde velocidad, cayendo en vertical y sin llegar a penetrar en su mayoría en la cámara de aire.

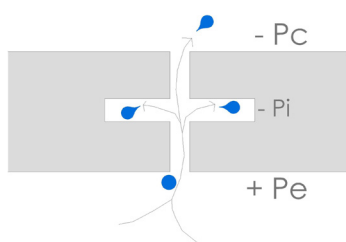
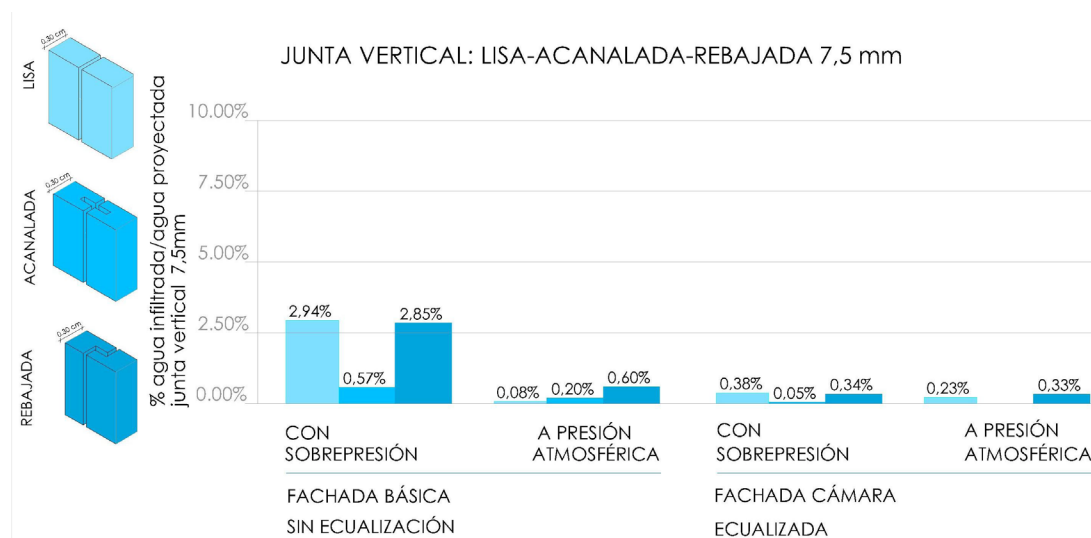


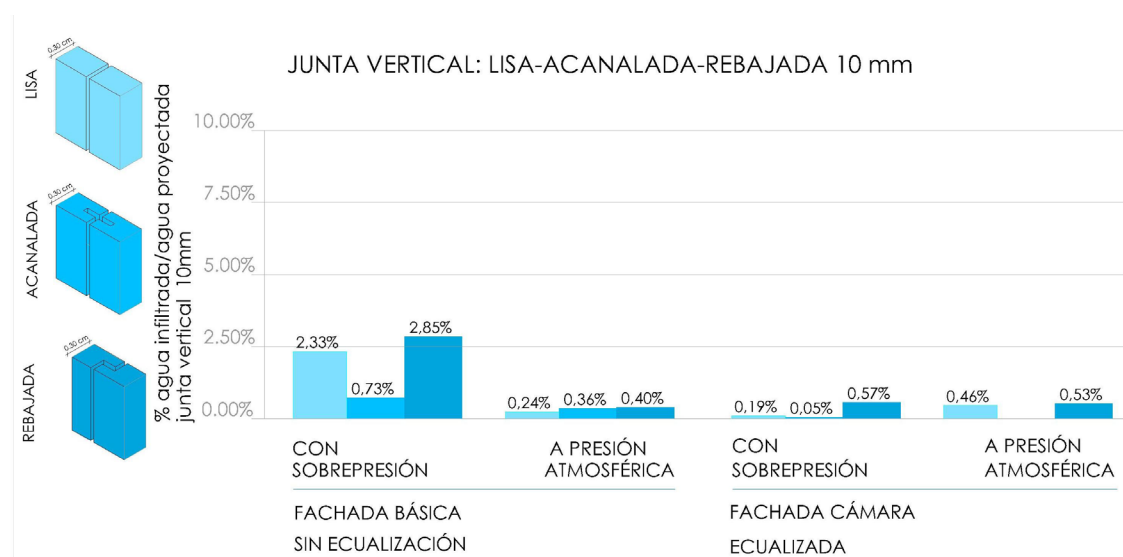
Figura 5.3.4.1 Esquema del agua que descende por gravedad, en la acanaladura del canto de la junta vertical, debido a la pérdida de velocidad del aire que la arrastra al interior de la cámara.



Gráfica 5.3.4.2 Comparativa de agua infiltrada en relación al agua proyectada en prototipo de fachada ventilada con junta vertical según diseño de 7,5 mm.

Al igual que en la junta vertical de 5 mm, observamos prácticamente lo mismo con el espesor de 7,5 mm, siendo el mejor diseño con diferencia, el de junta vertical acanalada, con un porcentaje de infiltración de agua de 0,57 %, muy inferior al resto de diseños en las condiciones más desfavorables de cámara ecualizada y sobrepresión.

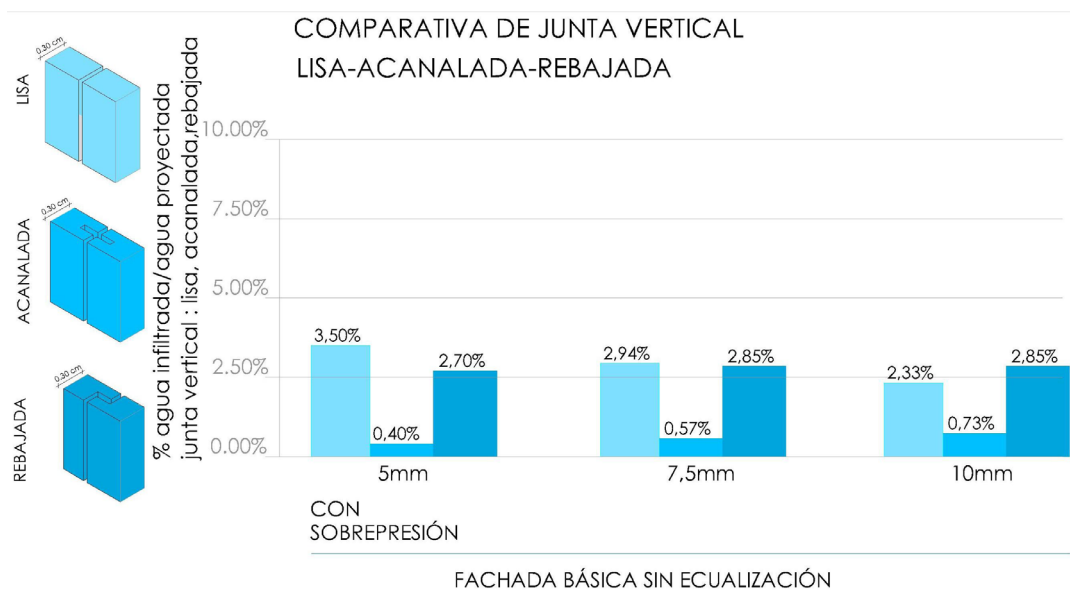
Así pues se pueden considerar despreciables las variaciones en los resultados obtenidos con cámara ecualizada, con presión de aire y a presión atmosférica, y con cámara sin ecualizar a presión atmosférica. Se considera únicamente relevante comprobar la escasa infiltración de agua que se produce.



Gráfica 5.3.4.3 Comparativa de agua infiltrada en relación al agua proyectada en prototipo de fachada ventilada con junta vertical según diseño de 10 mm.

Del mismo modo, al analizar según su diseño las juntas de 10 mm de espesor, de nuevo nos remitimos a los comentarios realizados para la junta de 5 mm y 7,5 mm, ya que aún variando ligeramente los porcentajes del agua infiltrada en cada situación, obtenemos las mismas conclusiones. En este caso se concluye considerando la junta vertical acanalada, el mejor diseño para una menor infiltración.

Se realiza a continuación un análisis, de forma más genérica, observando todos los diseños de junta vertical planteados, en relación a los tres espesores objeto de estudio.



Gráfica 5.3.4.4 Comparativa de agua infiltrada en relación al agua proyectada en prototipo de fachada ventilada con junta vertical según diseño y espesor. En condiciones de cámara sin ecualizar y sobrepresión.

Del análisis de los datos obtenidos y reflejados en la gráfica de barras, con el porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en las condiciones más habituales de cámara ventilada y sobrepresión, obtenemos a su vez que la junta más favorable es la acanalada, sin importar prácticamente el espesor de la misma, siendo la de 5 mm la más favorable de las tres, con una infiltración de agua del 0,40 % en relación al agua proyectada.

La junta lisa de 10 mm de espesor, sería en este caso el siguiente diseño más conveniente aunque con una proporción de infiltración de agua del 2,33 %. La infiltración de agua a través de la junta vertical lisa es inversamente proporcional a la amplitud de la misma, debido a que cuando la separación entre los aplacados es de 5 mm la velocidad del viento a su paso por la misma es mayor que en los casos de junta de espesor 7,5 y 10 mm, por lo tanto, arrastra mayor cantidad de agua en su recorrido (la explicación nos remite a la ecuación de continuidad, véase punto 5.3.1.1).

Sin embargo, la infiltración por la junta rebajada se mantiene igual para las tres amplitudes, en situación de cámara sin ecualizar y sobrepresión, debido a que el diseño de la misma produce un canal en todas ellas del mismo espesor (4 mm), por el cual la velocidad del aire aumenta arrastrando la misma cantidad de agua.

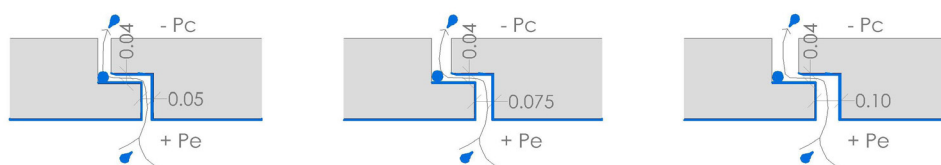


Figura 5.3.4.2 Esquema del conducto de 4 mm que provoca que el agua que lo atraviesa arrastrada por la acción de aire sea de cantidades similares en amplitudes de junta de 5, 7,5 y 10 mm.

A su vez, analizando el resto de los ensayos tipo, para los distintos diseños de junta vertical, observamos que las variaciones entre los ellas son despreciables, al estar la cámara ecualizada, o no existir la acción del viento. Situaciones que pocas veces ocurren en la realidad y que se ensayan para observar la entrada de agua que se produce por la acción de otras fuerzas, como la tensión superficial.

Como **resumen del análisis** de los tres diseños de junta vertical, se indican a continuación distintas situaciones que se observaron en los ensayos a sobrepresión con cámara sin ecualizar :

- Con la junta vertical lisa, se produce, en la esquina inferior de la misma, un chorro continuo de agua que aumenta con los diferentes escalones de presión, a la vez que el agua se infiltra a través de toda la longitud de la junta vertical, llegando a alcanzar el vidrio que simula la hoja interior de la cámara. La menor infiltración de agua es del 2,33 % para una amplitud de junta vertical lisa de 10 mm.
- Con la junta vertical acanalada, no se produce en las esquinas inferiores de los aplacados proyección de agua, únicamente pequeñas gotas acumuladas en las mismas, ya que el agua discurre por la acanaladura principalmente, aunque la presión de aire provoca que las gotas que se introducen a través de la longitud de la junta vertical acanalada alcancen la hoja interior de la cámara. La menor infiltración de agua es del 0,40 % para una amplitud de junta vertical acanalada de 5 mm.
- Con la junta vertical rebajada el agua se canaliza por el rebaje de la junta no llegando a alcanzar la hoja interior de la cámara. La menor infiltración de agua es del 2,70 % para una amplitud de junta vertical rebajada de 10 mm.

Es importante en este punto hacer hincapié en la poca cantidad de agua que se introduce por la junta vertical, independientemente de su diseño, en relación al agua proyectada. En la gráfica 5.3.4.4 observamos como el porcentaje de agua no infiltrada es superior al 95 % para cualquiera de los diseños de junta vertical, lo que nos lleva a concluir que en un sistema de fachada ventilada realizado únicamente con junta vertical la infiltración de agua es despreciable. Llegados a este punto cabe recordar, que se debe diseñar un buen sistema de evacuación, como en toda cámara ventilada, y seguir cuidando la impermeabilización de la hoja interior de la cámara, así como los encuentros entre partes ciegas y huecos. Como se ha observado en la descripción de estos ensayos, en los casos de actuación de sobrepresión

y cámara sin ecualizar, el agua llegaba en determinadas circunstancias a proyectarse directamente sobre la cara interior de la cámara de aire. Por lo tanto entendemos que entra poca cantidad de agua, aunque esta llega a alcanzar directamente, mediante gotas, la pared interior de la cámara. Esta situación ocurre con juntas verticales lisas y acanaladas mientras que con la junta rebajada el agua se canaliza por la misma sin alcanzar la parte interior de la cámara.

Concluimos así que el diseño de junta acanalada es el que permite una menor infiltración de agua en la cámara para cualquiera de las amplitudes de junta ensayadas, siendo la de 5 mm la más recomendada. La proyección de agua que se produce a través de la misma, debido a la acción del aire puede ser anulada o obstaculizada a su vez, mediante una pantalla que se ubique delante de la misma, como puede ser la propia subestructura.

5.4 ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL SEGÚN DISEÑO Y JUNTA HORIZONTAL LISA

Para completar la investigación, en relación a la incidencia de la junta vertical en la infiltración de agua en la cámara de las fachadas trasventiladas de piedra, parece oportuno además realizar un estudio que abarque la combinación de la misma con la junta horizontal. Los despieces más habituales de aplacados de fachadas ventiladas se suelen construir con junta vertical y horizontal.

“ Los formatos habituales no exceden el metro por lado. La placa debe tener un peso que permita ser colocada por un único operario. Son habituales los formatos de 60x40cm y similares.”¹

Para poder llevar a cabo esta investigación complementaria, ha sido necesario diseñar un prototipo que simule una fachada trasventilada de 1m² con juntas verticales y horizontales. El dispositivo se somete igualmente a las acciones de lluvia y viento, para poder analizar y recoger datos de infiltración del agua en la cámara. Para ello se ha empleado, de nuevo, el banco de pruebas del laboratorio de hidráulica del CITEEC, utilizado habitualmente para ensayar ventanas a estanqueidad y permeabilidad al aire.

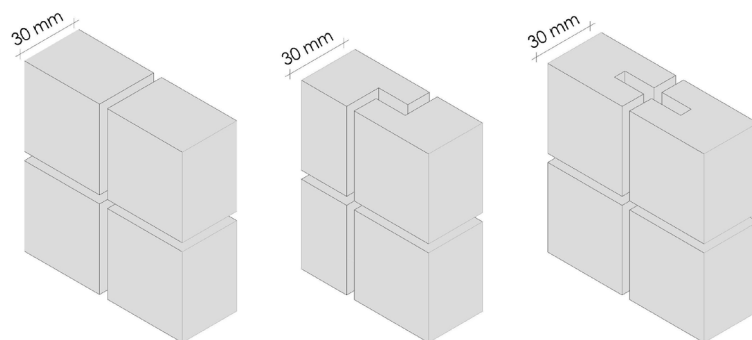


Fig 5.4.1 Esquema de los diseños de junta vertical (lisa, acanalada y rebajada) y junta horizontal lisa.

Se asumen como prerrogativa los diseños de junta vertical ya estudiados para un despiece de únicamente junta vertical (lisa, acanalada y rebajada) y se combina con la junta horizontal lisa. Al igual que en los ensayos anteriores se definen tres amplitudes de junta, 5, 7,5 y 10 mm.

Se realiza a continuación, la descripción de los tipos de ensayo según las situaciones de la cámara: fachada básica sin ecualización, que se ensaya tanto con sobrepresión como a

¹ Pardal y Paricio 2006, 36.

JUNTA COMBINADA


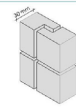
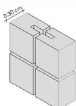
			FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA		
			espesor de junta (mm)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
vertical lisa horizontal lisa		5	ensayo tipo 37	ensayo tipo 38	ensayo tipo 39	ensayo tipo 40	
		7,5	ensayo tipo 41	ensayo tipo 42	ensayo tipo 43	ensayo tipo 44	
		10	ensayo tipo 45	ensayo tipo 46	ensayo tipo 47	ensayo tipo 48	
vertical acanalada horizontal lisa		5	ensayo tipo 49	ensayo tipo 50	ensayo tipo 51	ensayo tipo 52	
		7,5	ensayo tipo 53	ensayo tipo 54	ensayo tipo 55	ensayo tipo 56	
		10	ensayo tipo 57	ensayo tipo 58	ensayo tipo 59	ensayo tipo 60	
vertical rebajada horizontal lisa		5	ensayo tipo 61	ensayo tipo 62	ensayo tipo 63	ensayo tipo 64	
		7,5	ensayo tipo 65	ensayo tipo 66	ensayo tipo 67	ensayo tipo 68	
		10	ensayo tipo 69	ensayo tipo 70	ensayo tipo 71	ensayo tipo 72	

Tabla 5.4.1 Enumeración de ensayos tipo a realizar para una fachada trasventilada de piedra con junta vertical.

presión atmosférica y fachada con cámara ecualizada que se ensaya del mismo modo con sobrepresión y a presión atmosférica. Surgen de este modo cuatro ensayos tipo para cada espesor de junta y por cada diseño de junta.

Se elabora a su vez una tabla que recoge y numera todos los ensayos tipo a realizar, para el caso de fachada ventilada con junta vertical según diseño y junta horizontal lisa.

Para igualar los datos, aunque no en todos los ensayos se alcanzan los mismos niveles de presión, se extrapolan valores y se unifican según el tiempo transcurrido desde el inicio del ensayo. Se ha establecido, como criterio para todos los ensayos la misma duración de los mismos, siendo de 24 minutos en los casos que se someten a acción de lluvia y viento, y de 10 minutos en los casos en los que únicamente se somete a la acción del agua.

Como punto de partida, estudiaremos la junta horizontal lisa, que se irá combinando con los distintos tipo de junta vertical propuestos, lisa, acanalada y rebajada. Todas las combinaciones se ensayaran para la amplitud de junta de 5, 7,5 y 10 mm y en las condiciones de cámara ecualizada y sin ecualizar, ambas con distintos escalones de presión de aire y en ausencia del mismo.

La disposición de la junta vertical, responde a criterios de diseño según la situación de las boquillas de agua, de tal forma que la proyección de la misma es uniforme y no se aplica directamente sobre la junta de los aplacados.

Las condiciones técnicas de partida, comunes a todos los ensayos son las siguientes:

- Espesor de la piedra: 30 mm
- Ángulo de incidencia de la proyección del chorro de agua: 28°
- Número de aspersores: 3
- Saltos de presión de cada ensayo: 0-50-100-150-200-250-300-450-600 Pa.

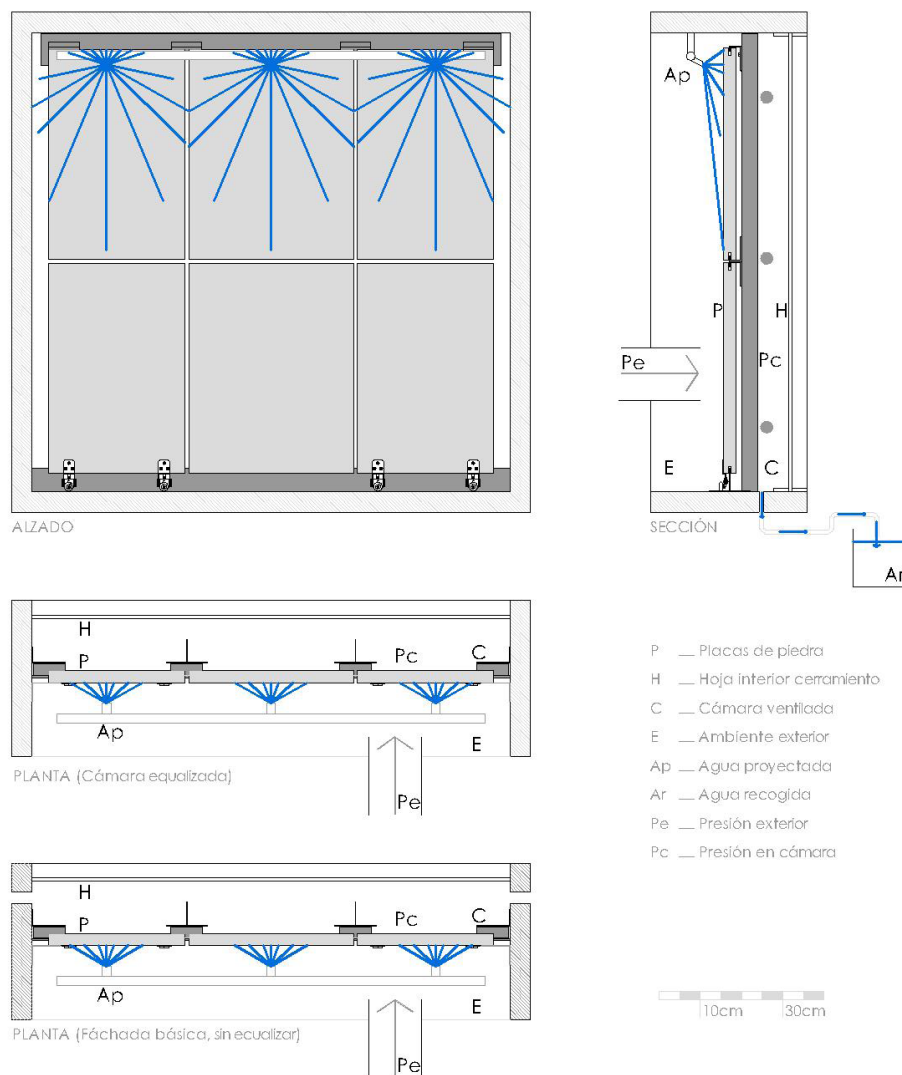


Figura 5.4. 2 Esquema de prototipo de fachada ventilada con junta vertical y junta horizontal, incluyendo situación de boquillas de proyección de agua.

La proyección del agua se ejecuta escalonadamente, dando saltos de presión cada 3 minutos aproximadamente. Las condiciones de ventilación de la cámara y el tiempo establecido marcarán la presión máxima alcanzada en cada ensayo tipo.

A continuación se adjunta un cuadro de equivalencia entre Presión (Pa) y Velocidad (Km/h), donde podemos apreciar, que la máxima presión a la que es proyectada el agua no supera los 120 Km/h, en ningún momento del ensayo se llegan a superar los 600 Pa de presión de agua.

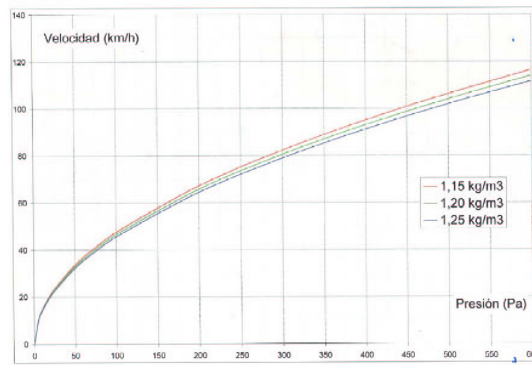


Figura 5.4. 3 Cuadro de equivalencia entre presión (Pa) y velocidad (Km/h)

En el siguiente apartado, se describirán los ensayos realizados que a su vez seguirán el mismo desarrollo. Para una mejor visualización de los datos obtenidos en cada ensayo se elaborarán unas tablas que recogen los datos alcanzados para cada ensayo tipo, según diseño de junta y espesor. Con los resultados se dibujará una gráfica de infiltración de agua por la junta, en relación al agua proyectada para cada ensayo tipo.

Así mismo en cada bloque se realizarán unas gráficas comparativas según las situaciones de partida y el espesor de junta.

5.4.1 ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA

Los primeros ensayos a realizar se acometen combinando la junta vertical lisa con la junta horizontal lisa, en sus tres amplitudes y en los dos sentidos.

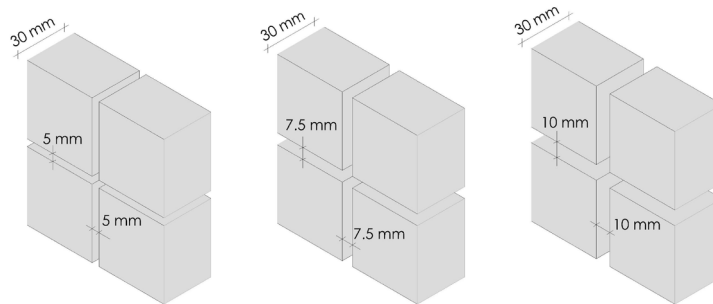


Figura 5.4.1.1 Esquema de junta vertical lisa y horizontal lisa para las amplitudes de 5, 7.5, 10 mm.

a. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical lisa y horizontal lisa de 5 mm

Se inicia el primer ensayo de juntas combinadas verificando la amplitud de junta en ambos sentidos y la correcta disposición del prototipo en el banco de pruebas.

ENSAYO TIPO 37: JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Debido a que se prevé que se infiltre más agua en estos ensayos, es necesario disponer de varias garrafas para sustituirlas durante la duración del mismo.

A su vez, el ajuste de las juntas en los dos sentidos debe ser muy preciso para que los datos sean fiables. Este ensayo se ha realizado tres veces, obteniendo en dos de ellos resultados iguales y en un tercero una variación de dos litros, que se supone producida por un desajuste de las juntas, ya que no siempre se forma un menisco en la junta horizontal, lo que indica que esta tiene en alguno de los despieces una amplitud superior a los 5 mm.

Al inicio de los ensayos de referencia, se forma un menisco a lo largo de toda la junta horizontal, de manera que las piedras permanecen secas en toda su superficie. Únicamente se ven humedecidas las partes en contacto con la junta, en un margen de 2 o 3 cm.

Este menisco, se rompe en su contacto con la junta vertical, que es por donde penetra el agua a la cámara. Se observa que detrás de los perfiles en T en vertical que sujetan las piedras de la fachada del prototipo, caen gotas que salpican la base de la cámara. Por lo tanto verificamos que el agua se está infiltrando por la junta vertical.

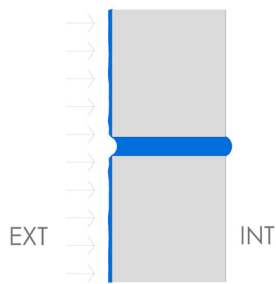


Figura 5.4.1.2 Imagen del menisco que se produce en la junta horizontal de 5 mm. Sección transversal.

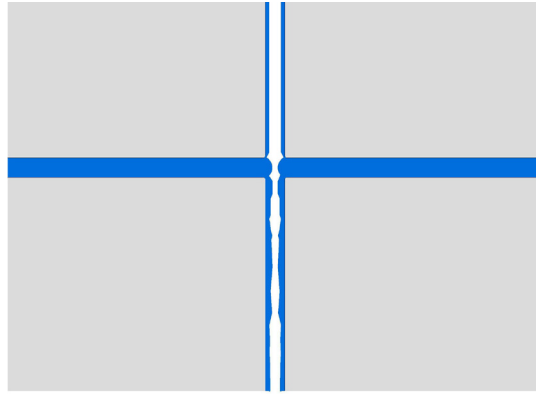


Figura 5.4.1.3 Imagen del desbordamiento de agua de la junta horizontal lisa de 5 mm en su encuentro con la junta vertical. Alzado desde el interior de la cámara de aire.

A los trece minutos del inicio del ensayo, se observa que el menisco desborda agua en pequeñas cantidades, a su vez los escalones de presión hacen que el viento empuje el mismo permitiendo que el agua rebose. Se aprecia en las líneas de agua que vemos discurrir por el perfil en “T” invertido que sujeta las piedras en la base del prototipo.

Por las piedras superiores, no se percibe que discurra agua, ni en diagonal, proveniente de las juntas verticales. Sin embargo en las zonas inferiores pegadas al perfil se observa una pequeña línea diagonal de agua.

Igualmente, en las zonas que se ubican las acanaladuras puntuales en el canto horizontal de la piedra, para anclar los perfiles en uña, se produce la rotura de la tensión superficial de la junta horizontal, desbordando el agua por esa zonas. Se ha observado que no todas las acanaladuras tienen la misma dimensión ya que en las más largas, la rotura se produce antes.



Figura 5.4.1.4 Imagen del desbordamiento de la junta horizontal debido a la presión de aire. Vista desde el interior de la cámara de aire.

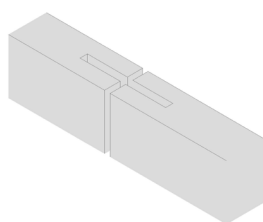


Figura 5.4.1.5 Imagen de la acanaladura que se practica a las piedras en su canto horizontal para su anclaje a la subestructura.



Figura 5.4.1.6 Detalle de la imagen del desbordamiento de la junta horizontal debido a la presión de aire. Vista desde el interior de la cámara de aire.

A los 18,14 minutos se introduce otro escalón de presión, se rompe más la bolsa y entran más conductos de agua. Se produce en este ensayo una infiltración de agua de 54,66 litros.

ENSAYO TIPO 38: JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Al igual que en el ensayo anterior, se observa un menisco en toda la junta horizontal, el cual no se rompe en todo el ensayo debido a la ausencia de viento.

También se percibe como se humedece el canto de la junta en 1cm aproximadamente.

La infiltración de agua obtenida al finalizar el ensayo es de 14,22 litros.



Figura 5.4.1.7 Imagen del menisco en la junta horizontal lisa y del humedecimiento al borde del canto.

ENSAYO TIPO 39: JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

En la realización de este ensayo, se observa como el agua penetra en la cámara, por la junta vertical únicamente. Sin embargo en la junta horizontal se forma un menisco que desborda en su unión con la junta vertical, discurriendo por esta. Por lo tanto, un porcentaje de agua cae dentro de la cámara y otro se queda en la parte que denominamos exterior.

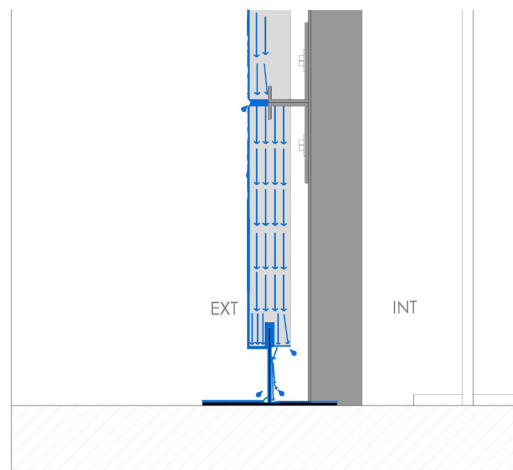


Figura 5.4.1.8 Imagen del agua que cae por la junta vertical lisa de 5 mm. Sección por junta vertical.

A su vez, se ven las gotas salpicar detrás de la T situada en vertical, sin embargo no se observan en el perfil inferior en T gotas. Por lo tanto, el agua no está entrando por la junta horizontal, sino deslizaría por el perfil en T como en otros casos. Al estar la piedra humedecida de anteriores ensayos, en ocasiones es difícil apreciar si pequeñas gotas de agua discurren por ella.

El menisco de la junta horizontal permanece constante durante la duración del ensayo, no desbordando agua por el frontal ya que al estar la cámara ecualizada e igualarse las presiones, el viento no circula por la misma.

Se obtiene una infiltración de agua de 35,98 litros.

ENSAYO TIPO 40: JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Como en los anteriores ensayos de junta vertical lisa y horizontal lisa de 5 mm de amplitud, se crea un menisco de agua en la junta horizontal que permanece los 10 minutos de duración del mismo.

La infiltración de agua al finalizar el ensayo es de 14,76 litros.

b. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa y horizontal lisa de 5 mm

A continuación recogemos en una tabla los datos obtenidos del sistema de datos y del peso de las garrafas .

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA 5mm

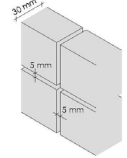
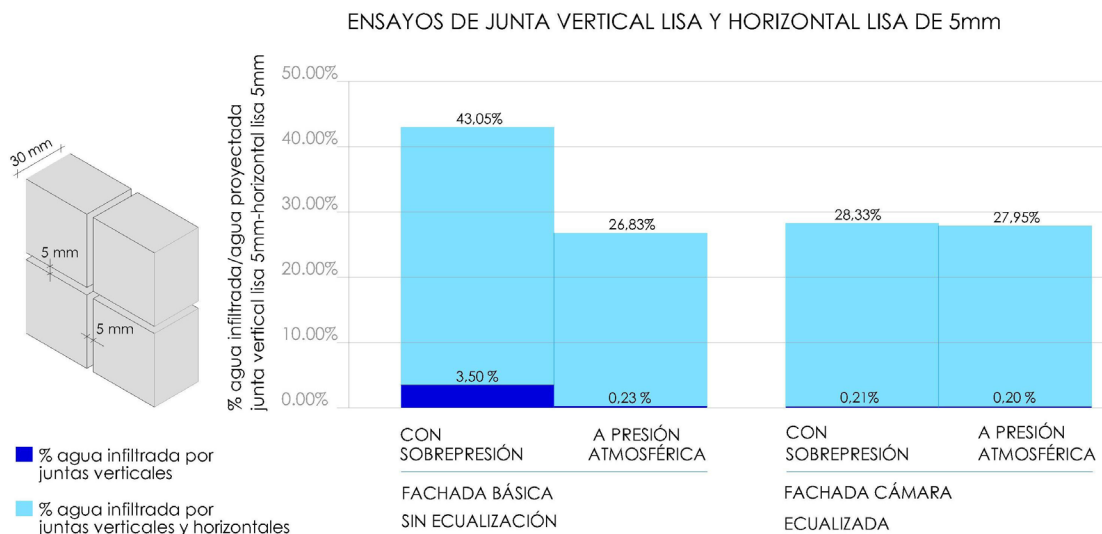
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,29	5,30	5,29	5,28
AGUA INFILTRADA (litros)	54,66	14,22	35,98	14,76
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	43,05%	26,83%	28,33%	27,95%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	2,27	1,42	1,49	1,48
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	440	—	600	—

Tabla 5.4.1.1 Resultados de ensayos tipo 37 a 40 de fachada ventilada de junta vertical lisa y horizontal lisa de 5 mm de espesor.

La presión máxima alcanzada por el aire es de 440 Pa en el caso de la cámara sin ecualizar y 600 ecualizada. Valores similares a los obtenidos con la junta únicamente vertical. Lo cual nos lleva a concluir que el porcentaje de ventilación de la cámara por la fachada no influye en gran medida en la presión máxima alcanzada.

En la combinación de junta vertical lisa y horizontal lisa obtenemos un porcentaje de infiltración de agua mayor cuando la cámara está sin ecualizar y en condiciones de sobrepresión, alcanzando un valor de 43,05 %. En el caso de cámara sin ecualizar a presión



Gráfica 5.4.1.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 37 a 40 de fachada ventilada de junta vertical lisa y horizontal lisa de 5 mm de espesor.

atmosférica y cámara ecualizada en las dos situaciones, a sobrepresión y presión atmosférica, se obtienen valores análogos que oscilan en menos de un 2 %, siendo la infiltración del 28 % del agua proyectada.

Estas situaciones se contemplaban igualmente en los ensayos con junta vertical lisa, aunque la infiltración de agua era mucho menor, de un 3,50 % en el caso más desfavorable y de apenas un 0,23 % en el resto de situaciones. Si superponemos en la gráfica el agua infiltrada por la junta vertical lisa, vemos que es despreciable en el montante total final. (Véase gráfica 5.4.1.1)

En este punto, debemos matizar que la infiltración de agua que se produce cuando solo existe junta vertical, no es la misma que se origina por la junta vertical cuando esta se combina con junta horizontal, ya que las juntas verticales actúan en este caso de desagüe de las juntas horizontales.

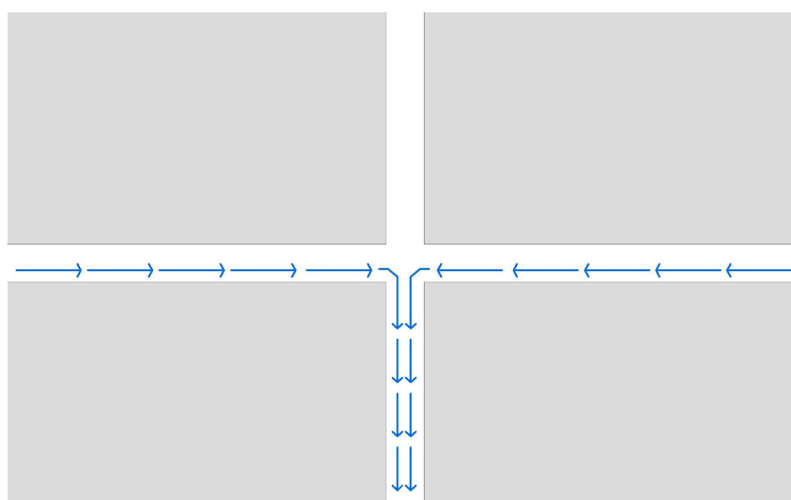


Figura 5.4.1.8 Esquema de cómo el agua fluye por la junta vertical. Vista frontal desde el interior de la cámara.

A su vez, si comparamos la infiltración de agua que se produce cuando existen juntas verticales y horizontales y cuando solamente existen juntas verticales, observamos que la diferencia es muy notable, siendo despreciable la aportación por la junta vertical. Advertimos que con la existencia de la junta horizontal, se produce una mayor infiltración, aunque se forme un taponamiento en la misma debido a la tensión superficial. El agua al llegar al encuentro con la junta vertical fluye por ella penetrando gran parte en el interior de la cámara.

c. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical lisa y horizontal lisa de 7,5 mm

En el siguiente apartado se recogen los datos de los ensayos de la junta vertical lisa y horizontal lisa de amplitud 7,5 mm.

ENSAYO TIPO 41: JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Este ensayo se ha realizado varias veces, para comprobar si se creaba un menisco en la junta horizontal, ya que en primera instancia se originaba una pequeña bolsa en una de las juntas horizontales, producto de un mal dimensionado de la amplitud de la misma. Este hecho nos lleva a pensar que en la realidad, se deben producir situaciones similares de malas regulaciones de junta que a su vez deben ser corregidas y tenidas en cuenta en el diseño de la perfilería de sujeción de las piedras.

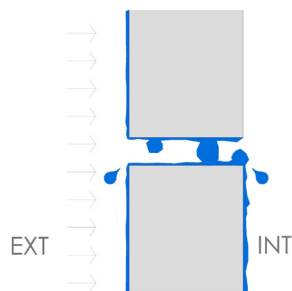


Figura 5.4.1.9 Imagen de junta horizontal lisa de 7,5 mm . Sección.

Como se aprecia en el esquema anterior, se generan gotas que abarcan el ancho de la junta y se mueven en sentido longitudinal. A los 15 minutos del comienzo del ensayo estas burbujas han desaparecido debido a la presión de aire inyectado que las rompe.

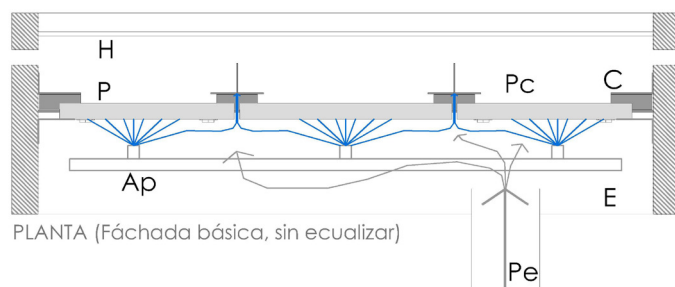


Figura 5.4.1.10 Esquemas de la proyección del agua a través de la junta vertical lisa sobre el perfil en T' debido a la acción del aire e imagen de los perfiles en T' de la cámara.

Se observa a su vez que entra agua por la junta vertical percibiéndose el goteo detrás del perfil en T vertical, el cual oculta la visión de la junta vertical desde el interior de la cámara. No se produce por lo tanto, proyección de agua en el cristal aunque sí se proyecta en el perfil en T.

Al finalizar el ensayo obtenemos una infiltración de agua de 51,00 litros.

ENSAYO TIPO 42: JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Como en ensayos anteriores no se origina menisco en la junta horizontal lisa de 7,5 mm únicamente se observaron burbujas de agua que se mueven en el canto.

Al finalizar el ensayo obtenemos una infiltración de agua de 14,56 litros.

ENSAYO TIPO 43: JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Este ensayo también se repite varias veces, debido a que en la primera prueba se observa que en las piedras centrales se crea una bolsa en la junta horizontal y en las laterales no, fruto de una regulación de la junta errónea. Sin embargo, los resultados no difieren de forma sustancial ya que el agua rebosa igualmente por la junta horizontal, a la vez que se infiltra por las juntas verticales.



Figura 5.4.1.11 Imagen del agua que desborda por la junta horizontal de 7,5 mm de canto liso.

En las juntas horizontales, se generan gotas en la parte superior del canto que caen en la parte inferior y discurren por fachada, por toda la superficie de la piedra, mojándolas completamente.

La infiltración de agua obtenida al finalizar el ensayo es de 34,26 litros que supone un porcentaje sobre el agua proyectada de 27,19 %.

ENSAYO TIPO 44: JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Como en los ensayos anteriores, para junta de 7,5 mm no se genera menisco en la junta horizontal, únicamente pequeñas bolsas o burbujas de agua que oscilan en la amplitud de la junta.

La infiltración de agua obtenida al finalizar el ensayo es de 14,58 litros que supone un porcentaje sobre el agua proyectada de 27,66 %.

d. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa y horizontal lisa de 7,5 mm.

A continuación se presentan los datos de este bloque de ensayos para su posterior análisis.

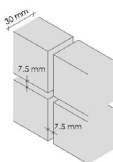
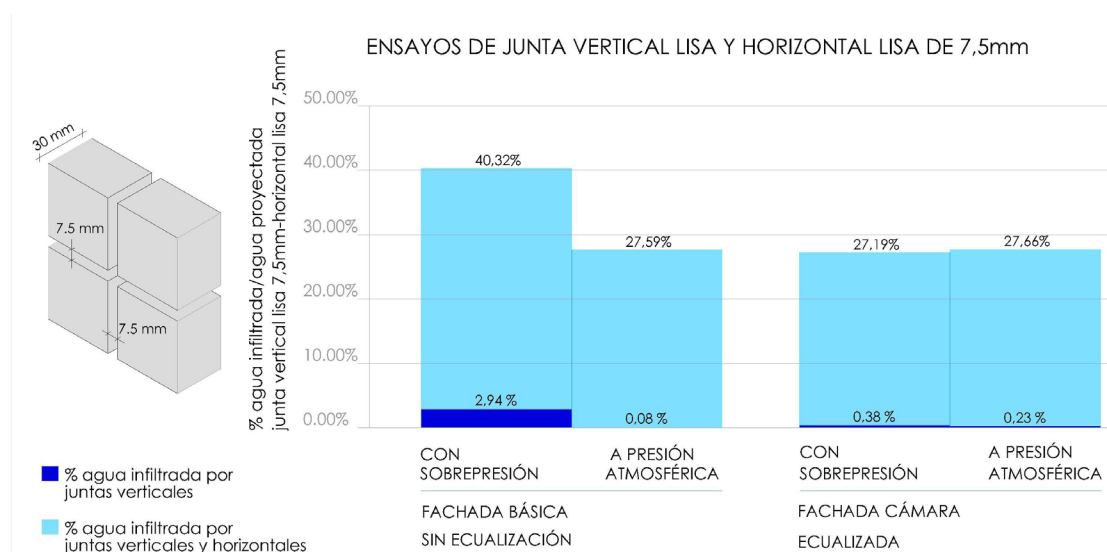
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA 7,5mm					
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA		
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	
	CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,27	5,29	5,25	5,27
	AGUA INFILTRADA (litros)	51,00	14,56	34,26	14,58
	AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	40,32%	27,59%	27,19%	27,66%
	CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	2,12	1,46	1,43	1,46
	PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	450	—	590	—

Tabla 5.4.1.2 Resultados de ensayos tipo 41 a 44 de fachada ventilada de junta vertical lisa y horizontal lisa de 7,5 mm de espesor.

Como se viene observando en los ensayos descritos hasta este punto de la investigación, se produce una mayor infiltración de agua en la situación de fachada ventilada sin ecualización y con sobrepresión, obteniéndose una infiltración de agua del 40,32 % en relación al agua proyectada. Los tres tipos de ensayo restantes permiten prácticamente la misma infiltración de agua en proporción al tiempo expuesto. Con cámara ecualizada o sin ecualizar la ausencia de presión de aire conduce a datos iguales, del orden del 27 %. Con la cámara ecualizada con presión de aire, ocurre lo mismo ya que en esta se estabiliza y se igualan las presiones anulando las corrientes de aire.

Como se observa en la gráfica 5.4.1.2, la infiltración que se produce con juntas combinadas es muy superior a la producida con junta solamente vertical, lo que implica que el agua se infiltra por la junta horizontal y únicamente usa la junta vertical como desagüe, de tal forma que el agua cae en mayor o menor medida dentro de la cámara dependiendo de la obstrucción que realice el sistema de anclaje de las piedras.



Gráfica 5.4.1.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 41 a 44 de fachada ventilada de junta vertical lisa y horizontal lisa de 7,5 mm de espesor.

e. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical lisa y horizontal lisa de 10 mm

Una vez ampliadas las juntas a 10 mm y preparados los dispositivos se procede a realizar los siguientes ensayos.

ENSAYO TIPO 45: JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

En la junta horizontal de 10 mm no se produce ninguna bolsa o menisco, como era de suponer al no producirse ya anteriormente en los ensayos de 7,5 mm. Se observa a su vez como en la junta horizontal las gotas se adhieren a la parte superior y van resbalando y rebotando en la misma.

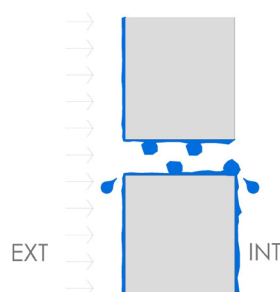


Figura 5.4.1.12 Esquema de las gotas de agua en el interior de la junta horizontal lisa de 10 mm. Sección de la junta.

La infiltración de agua obtenida al finalizar el ensayo es de 49,06 litros que supone un porcentaje sobre el agua proyectada de 38,56 %.

ENSAYO TIPO 46: JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

El agua discurre libremente por la junta en menor cantidad que en el ensayo anterior. Se obtiene una infiltración de agua de 15,46 litros, que supone un porcentaje sobre el agua proyectada del 29,41 %.

ENSAYO TIPO 47: JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Con la cámara ecualizada no se observa que se generen bolsas en la junta horizontal de 10 mm.

De esta forma la igualación de presión hace que no se generen corrientes de aire, así pues, el agua entra en menor medida.

A su vez se observa que las piedras superiores están secas, no apreciándose entrada de agua por la junta horizontal ni por la vertical que se desplace en diagonal.

Al finalizar se obtiene una infiltración de agua de 35,78 litros.

ENSAYO TIPO 48: JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Durante la realización de este ensayo no se observa ninguna particularidad salvo la menor entrada de agua a través de las juntas, como en los tipos anteriores en igual situación.

Una vez finalizado el ensayo obtenemos una infiltración de agua de 15,08 litros.

f. Resultados e interpretación. Junta vertical lisa y horizontal lisa de 10 mm

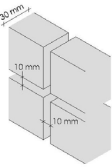
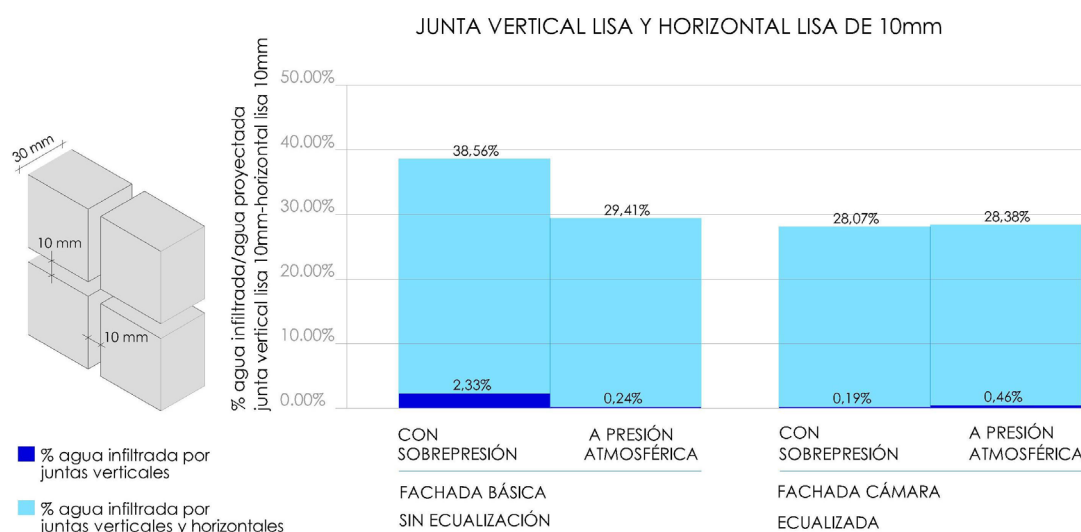
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA 10mm				
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,30	5,27	5,31	5,32
AGUA INFILTRADA (litros)	49,06	15,46	35,78	15,08
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	38,56%	29,41%	28,07%	28,38%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	2,04	1,55	1,49	1,51
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	440	—	600	—

Tabla 5.4.1.3 Resultados de ensayos tipo 45 a 48 de fachada ventilada de junta vertical lisa y horizontal lisa de 10 mm de espesor.



Gráfica 5.4.1.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 45 a 48 de fachada ventilada de junta vertical lisa y horizontal lisa de 10 mm de espesor.

Una vez concluidos los ensayos de junta vertical lisa y horizontal lisa de 10 mm de espesor generamos el cuadro de datos de los mismos.

De nuevo se observa que la presión máxima alcanzada por el aire es de 440 Pa en cámara sin ecualizar y de 600 Pa en la cámara ecualizada.

Se advierte a su vez, que se produce una infiltración de agua de un 38,56 % en la situación de cámara sin ecualizar con sobrepresión, dato que supera en un 10 % aproximadamente a las otros tres tipos de ensayo planteados; cámara ecualizada con sobrepresión y a presión atmosférica y de cámara sin ecualizar a presión atmosférica, alcanzando valores del 29%.

Como se observa en la gráfica 5.4.1.3, la infiltración que se produce con juntas combinadas, es muy superior a la producida con junta solamente vertical, lo que implica que el agua se infiltra por la junta horizontal y únicamente usa la junta vertical como desagüe, de tal forma que el agua cae en mayor o menor medida dentro de la cámara dependiendo del sistema de anclaje de las piedras.

5.4.1.1 COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA

Se recopilan en este apartado, todos los resultados obtenidos para las tres amplitudes de junta del prototipo de fachada ventilada con junta vertical lisa y horizontal lisa. A continuación se comparan y analizan para alcanzar los objetivos planteados.

Se observa igualmente, que la menor infiltración de agua se produce en la junta de 5 mm con cámara sin ecualizar y sin presión de aire. No variando más que en un porcentaje del 2 % respecto a los espesores de junta de 7,5 mm y 10 mm en las mismas condiciones. En las situaciones de cámara ecualizada, con y sin presión de aire los valores de infiltración son iguales. Por lo tanto, siempre que la cámara esté ecualizada o nos encontremos en ausencia

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA

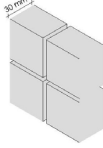
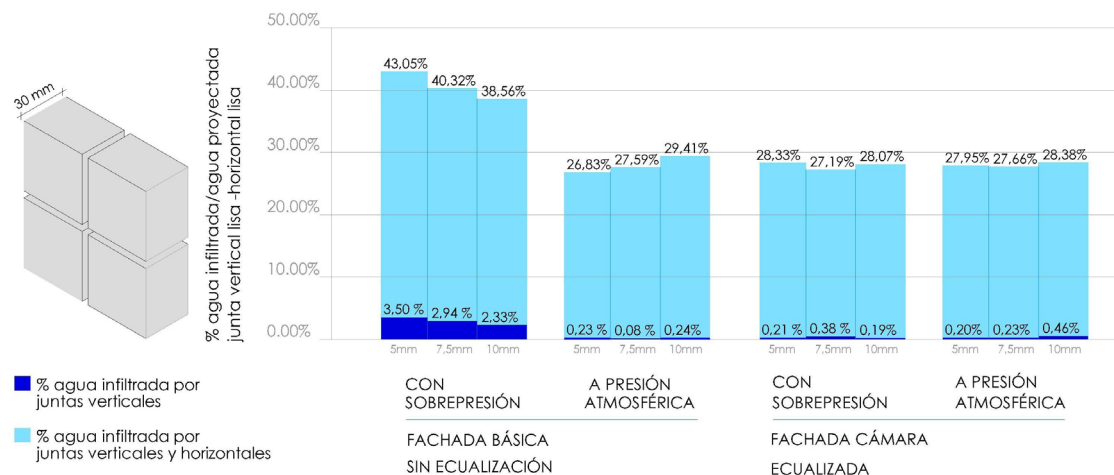
		FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
		ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5	5,29	5,30	5,29	5,28
	7,5	5,27	5,29	5,25	5,27
	10	5,30	5,27	5,31	5,32
AGUA INFILTRADA (litros)	5	54,66	14,22	35,98	14,76
	7,5	51	14,56	34,26	14,58
	10	49,06	15,46	35,78	15,08
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	5	43,05%	26,83%	28,33%	27,95%
	7,5	40,32%	27,59%	27,19%	27,66%
	10	38,56%	29,41%	28,07%	28,38%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	5	2,27	1,42	1,49	1,48
	7,5	2,12	1,46	1,43	1,46
	10	2,04	1,55	1,49	1,51
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	5	440	—	600	—
	7,5	450	—	590	—
	10	440	—	600	—

Tabla 5.4.1.4. Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical lisa y horizontal lisa de 5, 7,5 y 10 mm de espesor.

de presión de aire, es prácticamente indiferente el espesor de la junta vertical y horizontal cuando ambas son lisas.

En la situación de cámara ventilada y sobrepresión, que es la forma más habitual de construcción, se produce la mayor infiltración de agua con junta de 5 mm. En la junta vertical se origina un canal de desagüe de la junta horizontal, que debido a la velocidad que adquiere el aire al introducirse en la misma al estrecharse el conducto, arrastra más cantidad de agua hacia el interior de la cámara.

COMPARATIVA DE ESPESORES DE JUNTA VERTICAL LISA Y HORIZONTAL LISA



Gráfica 5.4.1.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical lisa y horizontal lisa.

Se produce de nuevo la situación comentada anteriormente relativa la dinámica de fluidos. Al ser el espesor de la junta de 5 mm, la velocidad del aire al pasar por la misma es mayor que en el resto de amplitudes de junta, arrastrando mayor cantidad de agua hacia el interior de la cámara. La infiltración menor en esta situación se produce con espesor de junta de 10 mm, alcanzando un valor de infiltración de agua del 38,56 %.

Si comparamos la infiltración de agua que se origina con juntas únicamente verticales, la diferencia es muy notable, siendo despreciable la aportación por la junta vertical, que en este caso no supera el 3,50 %. Sin embargo se debe tener en cuenta que su existencia genera un desagüe de la junta horizontal, permitiendo que parte del agua que penetra por ella se introduzca en la cámara a través de la junta vertical.

Observamos a su vez, que con la existencia de la junta horizontal, se produce una mayor infiltración en el caso de junta de 5 mm, aunque se forma un taponamiento en la misma debido a la tensión superficial, se genera un canal horizontal que absorbe el agua que al llegar al encuentro con la junta vertical, discurre por ella penetrando parte en el interior de la cámara.

Tal y como se ha contemplado en ensayos anteriores para la junta vertical lisa, se analiza ahora, qué fuerzas han intervenido en los casos de aplacados con junta vertical lisa y junta horizontal lisa.

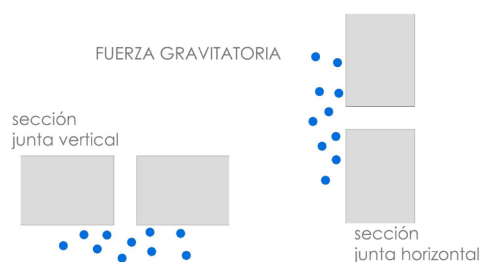


Figura 5.4.1.13 Esquema de la fuerza gravitatoria en junta vertical lisa y horizontal lisa.

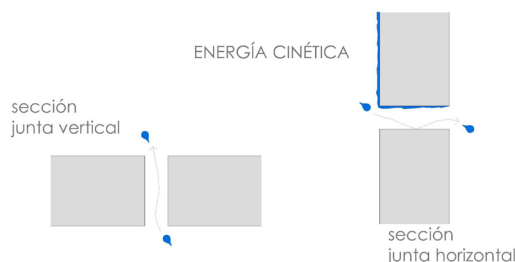


Figura 5.4.1.14 Esquema de la energía cinética en junta vertical lisa y horizontal lisa.

La fuerza gravitatoria únicamente colabora en la entrada de agua en la cámara, una vez que han actuado las otras fuerzas que introducen el agua. La energía cinética actúa así en presencia de la acción del viento.

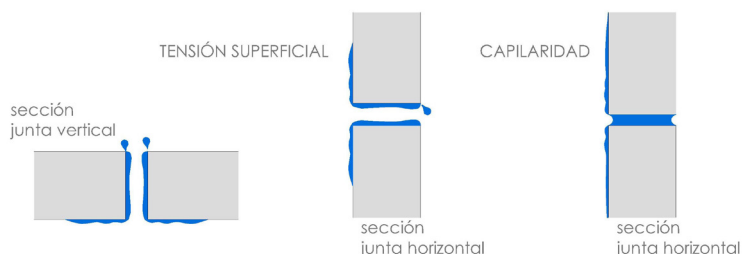


Figura 5.4.1.15 Esquema de la tensión superficial y la capilaridad en junta vertical lisa y horizontal lisa.

La tensión superficial, actúa siempre de manera que un pequeño porcentaje de agua llega a penetrar en la cámara. La fuerza de capilaridad en junta vertical no actúa. Como se ha comentado, en la observación de los ensayos no se produce ningún menisco en la junta vertical lisa, ni tan siquiera en amplitudes de 5 mm. Sin embargo en la junta horizontal lisa,

sí se produce capilaridad para 5 mm de espesor, que sin embargo desaparece con la amplitud de la junta de 7,5 mm.

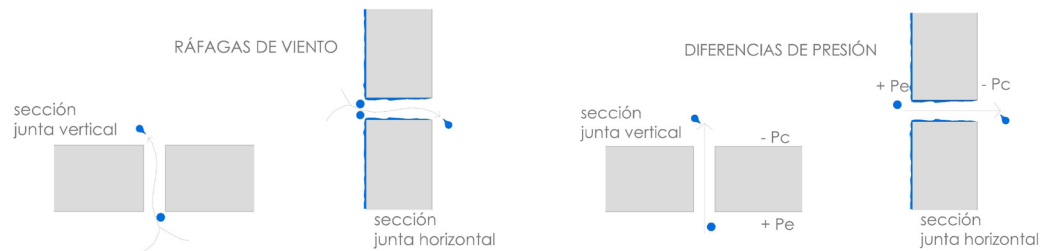
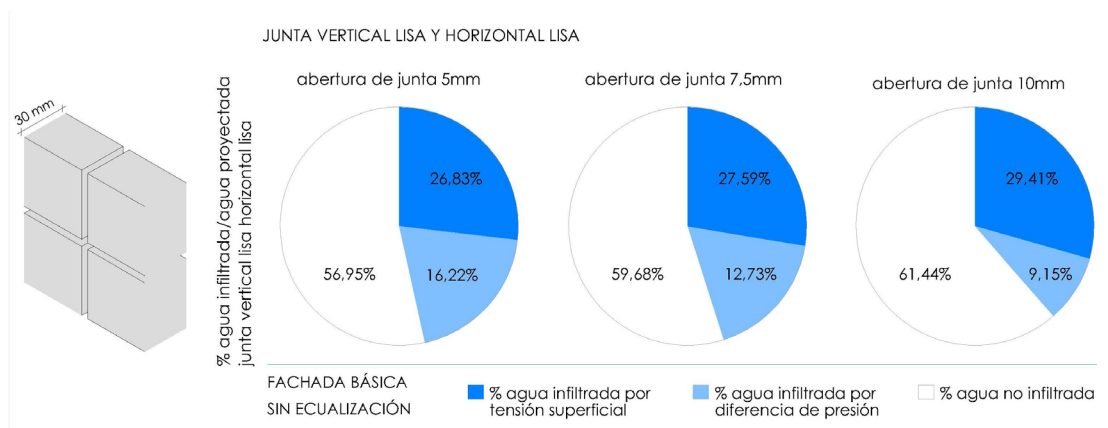


Figura 5.4.1.16 Esquemas de la diferencia de presión y ráfagas de viento en junta vertical lisa y horizontal lisa.

A su vez, las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se pueden asimilar una a la otra, siendo las fuerzas que producen mayor entrada de agua, pues ambas se convierten en masas de aire, que al infiltrarse por la junta arrastran gotas de agua al interior de la cámara. Las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se anulan cuando la cámara está ecualizada.

Del análisis, mediante los ensayos realizados, de las distintas situaciones a las que se expone una fachada ventilada, podemos discernir la cantidad de agua que se infiltra por tensión superficial y cuanta por diferencia de presión de aire. Se realiza esta gráfica únicamente para la fachada básica sin ecualizar, con presión de aire y en ausencia del mismo, debido a que con la fachada ecualizada los resultados se igualan a la situación de presión atmosférica.



Gráfica 5.4.1.5 Porcentaje de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión de aire en relación al agua proyectada para una fachada sin ecualizar con junta vertical lisa y horizontal lisa.

La variación de agua infiltrada por tensión superficial según el espesor de junta es mínima, no llegando al 3 %, debido a la ausencia de presión de aire. Por lo tanto la variación de infiltración de agua según la amplitud de la junta se produce por diferencias de presión.

5.4.2 ENSAYOS JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA

Se procede a continuación a realizar las tipologías de ensayos del 49 al 60, correspondientes a la junta vertical acanalada y a la junta horizontal lisa.

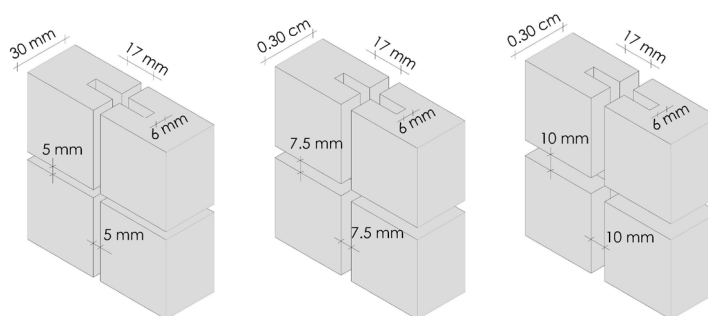


Figura 5.4.2.1 Esquema de junta vertical acanalada y horizontal lisa para las amplitudes de 5, 7.5, 10 mm.

a. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical acanalada y horizontal lisa de 5 mm.

ENSAYO TIPO 49: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Una vez iniciado el ensayo se genera un taponamiento en toda la junta horizontal, que impide la entrada de agua por ella. No se aprecia a su vez que el agua discurra por las piedras, ni se observan líneas de agua en el perfil en T, que separa la cámara del exterior a la vez que sujeta las piedras inferiores.

A los 5,33 minutos de inicio del ensayo, entra otro escalón de presión de aire y sigue sin apreciarse entrada de agua en el perfil en T inferior.

Sin embargo, sí se aprecia presencia de agua en el perfil inferior a los 19 minutos de igual modo que se observa cómo el agua se proyecta en forma de chorro, en la zona inferior de la junta vertical, en su esquina.

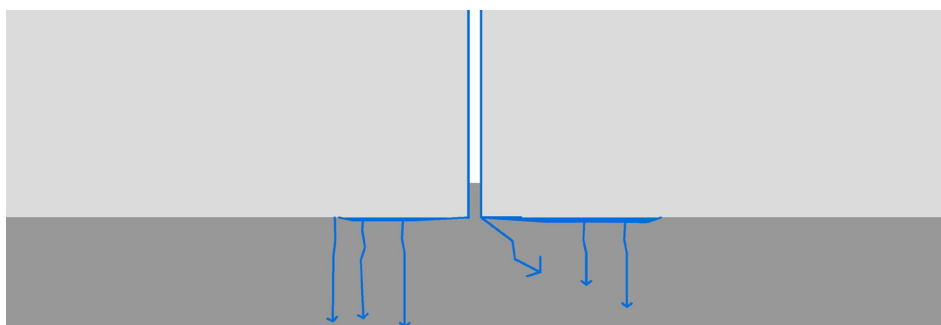


Figura 5.4.2.2 Esquema de infiltración de agua por junta vertical. Vista frontal de aplacados con junta vertical acanalada y horizontal lisa.



Figura 5.4.2.3 Imagen de la esquina inferior de la junta vertical acanalada oculta por el perfil en T. Vista desde la cámara de aire.



Figura 5.4.2.4 Imagen del ensayo de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 5 mm. Vista desde la cámara de aire.

Aunque el menisco en la junta horizontal se mantiene durante todo el ensayo, este empieza a desbordar debido al aumento de la presión del aire, de esta forma el agua discurre por la piedra hasta llegar a la cámara.



Figura 5.4.2.5 Vista del interior de la cámara de aire a los 21 minutos de iniciado el ensayo de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 5 mm en situación de sobrepresión y cámara sin ecualizar.

A los 21,30 minutos se proyecta agua en el vidrio, a la altura de la junta horizontal en el perfil en T vertical de la izquierda, por el orificio de los tornillos que se han movido (por un pequeño orificio que presenta la T vertical a la que se anclan las uñas que soportan las piedras) y que está situado justo en frente de la junta vertical. Se proyecta agua en lo que equivale a la cara interior de la cámara de aire. Se puede observar este hecho en la foto (5.4.2.5), quedando constancia del agua impulsada por la presión del aire. Las piedras inferiores están ya totalmente mojadas.

Al finalizar el ensayo obtenemos una infiltración de agua de 38,24 litros.

ENSAYO TIPO 50: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Se genera en toda la junta horizontal, un taponamiento debido a la tensión superficial. El agua cae por la junta vertical y entra parcialmente en la cámara de aire. Al finalizar el ensayo obtenemos una infiltración de agua de 12,70 litros.

ENSAYO TIPO 51: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

A los dos minutos del comienzo del ensayo, se genera un menisco en la junta horizontal. El menisco se rompe en la ranura practicada en el canto de la piedra para la ubicación de la uña que la sujeta, provocando que el agua desborde tanto hacia el interior como hacia el exterior, y a su vez descienda por el encuentro con la junta vertical. Se crean igualmente unas líneas de agua por diversos puntos de la junta horizontal que desbordan.

La bolsa de agua llega a la acanaladura por la uña y cae por la pestaña en vertical entrando en la cámara. En la zona de las uñas se rompe el menisco.

A los 12 minutos se mantiene el taponamiento originado en la junta horizontal.

A los 17 minutos sigue el taponamiento y existen zonas puntuales de infiltración de agua en la cámara a través de la junta horizontal.



Figura 5.4.2.6 Vista del interior de la cámara de aire con desbordamientos puntuales de la junta horizontal de 5 mm.



Figura 5.4.2.7 Vista del interior de la cámara de aire con desbordamientos puntuales de la junta horizontal de 5 mm.

También se observa cómo el agua está infiltrándose en su mayoría por la junta vertical que actúa de desagüe de la junta horizontal.

Al finalizar el ensayo obtenemos una infiltración de agua de 29,78 litros.

ENSAYO TIPO 52: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Al igual que en el resto de ensayos realizados con junta horizontal lisa de 5 mm, se genera un menisco en toda su amplitud, el cual se mantiene durante todo el ensayo.

Al finalizar el ensayo obtenemos una infiltración de agua de 11,76 litros.

b. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada y horizontal lisa de 5 mm.

Se recogen a continuación los resultados de los ensayos de junta vertical acanalada y horizontal lisa para 5 mm de espesor.

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA 5mm

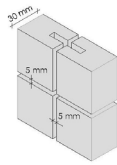
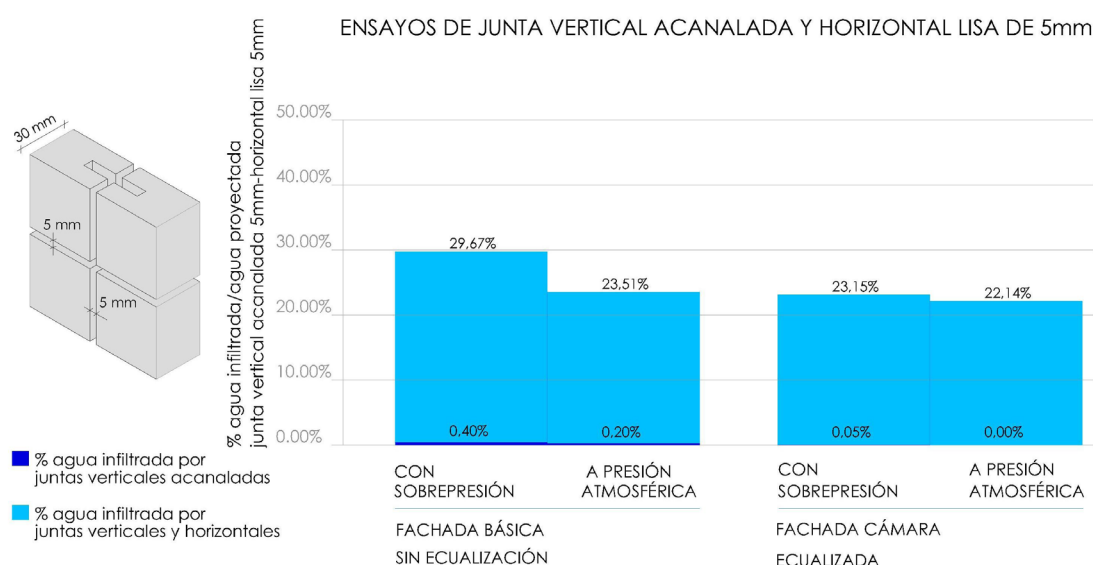
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,37	5,40	5,36	5,33
AGUA INFILTRADA (litros)	38,24	12,70	29,78	11,76
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	29,67%	23,51%	23,15%	22,14%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	1,59	1,27	1,24	1,18
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	450	—	600	—

Tabla 5.4.2.1 Resultados de ensayos tipo 49 a 52 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 5 mm de espesor.

Como se indicaba en otros ensayos, la presión máxima alcanzada se mantiene en 450 Pa cuando la cámara no está ecualizada y en 600 Pa para cámara ecualizada.

La menor infiltración de agua en la cámara, ocurre en las situaciones de cámara ecualizada, con y sin presión de aire, y cámara sin ecualizar sin presión de aire, siendo la diferencia entre ellas inferior al 2%.

La mayor infiltración se produce con cámara sin ecualizar y sobrepresión siendo un 8 % superior a los otras tres situaciones estudiadas, diferencia que se estima no muy elevada.



Gráfica 5.4.2.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 49 a 52 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 5 mm de espesor.

Si superponemos el agua infiltrada únicamente por la junta vertical acanalada, con el agua que se infiltra cuando se combinan junta horizontal lisa y vertical acanalada se observa que la junta vertical acanalada no tiene incidencia, colaborando exclusivamente como desagüe de la junta horizontal.

c. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical acanalada y horizontal lisa de 7,5 mm.

Se describen a continuación las observaciones realizadas durante la ejecución de los ensayos de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 7,5 mm.

ENSAYO TIPO 53: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN
Duración: 24 minutos

Se observa que no se genera ningún menisco en la junta horizontal y cómo el agua penetra directamente por la misma en el interior de la cámara.

A su vez, se proyecta parcialmente agua en el vidrio por los agujeros del perfil en T

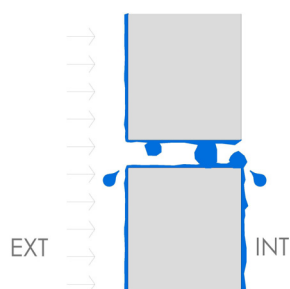


Figura 5.4.2.7 Esquema del comportamiento de la gota de agua en la junta horizontal lisa de 7,5 mm.



Figura 5.4.2.8 Vista de la junta horizontal lisa de 7,5 mm desde el interior de la cámara de aire.



Figura 5.4.2.9 Vista desde el interior de la cámara de aire del ensayo de junta vertical acanalada y horizontal lisa.

vertical, procedente de los tornillos que se movieron para modificar las cuñas.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 44 litros.

ENSAYO TIPO 54: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos.

En ausencia de viento, se observa que penetra agua constantemente a través de la junta

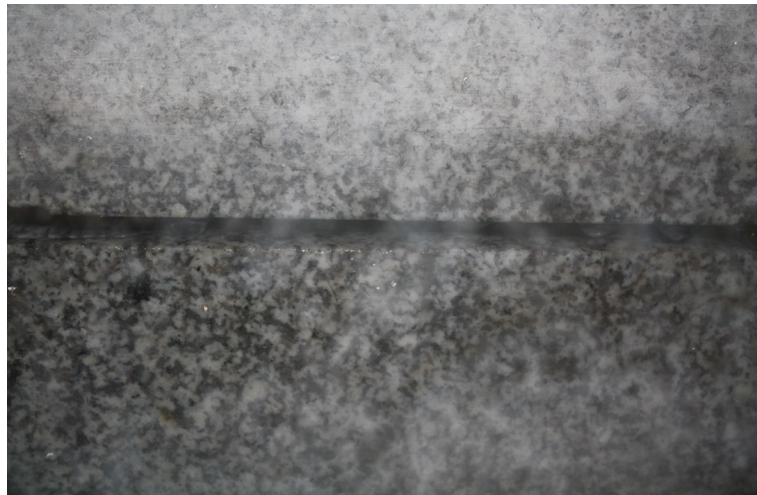


Figura 5.4.2.10 Vista de la junta horizontal lisa de 7,5mm en ensayo a presión atmosférica.

horizontal y que esta desagua por la junta vertical . Obteniéndose una infiltración de agua de 15,46 litros al finalizar el ensayo.

ENSAYO TIPO 55: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Se observa de nuevo cómo en juntas lisa de amplitud 7,5 mm no se genera taponamiento de agua y esta discurre desde la junta horizontal por la superficie de las piedras inferiores.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 35,88 litros.



Figura 5.4.2.11 Vista desde el interior de la cámara del agua que se infiltra por la junta horizontal lisa de 7,5 mm y discurre por la piedra.

ENSAYO TIPO 56: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

El agua se infiltra a través de la junta horizontal directamente.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 14,78 litros.

d. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada y horizontal lisa de 7,5 mm.

Se recogen a continuación los resultados de los ensayos del tipo 53 al tipo 56.

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA 7,5mm

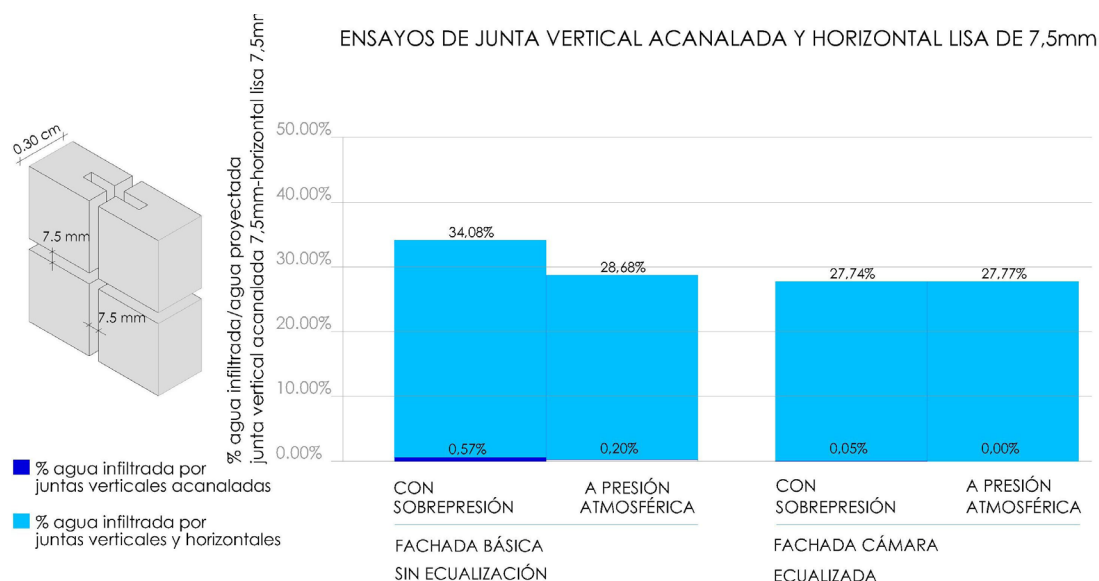
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,38	5,39	5,39	5,33
AGUA INFILTRADA (litros)	44,00	15,46	35,88	14,78
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	34,08%	28,68%	27,74%	27,77%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	1,83	1,55	1,49	1,48
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	450	—	600	—

Tabla 5.4.2.2 Resultados de ensayos tipo 53 a 56 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 7,5 mm de espesor.

Las presiones máximas alcanzadas se mantienen en los valores de 450 Pa con cámara sin confinar y en 600 Pa con cámara confinada.

A su vez, la menor infiltración de agua supone un 27,74% respecto al agua proyectada y esta se produce con cámara ecualizada, sin importar si existe presión de aire o no. Solamente es un 1% superior, la infiltración con cámara sin ecualizar en situación de presión atmosférica.

La mayor infiltración de agua, responde a un valor del 34,08 %. Se produce con cámara sin ecualizar y con sobrepresión representando las condiciones más usuales en este tipo de construcción.



Gráfica 5.4.2.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 53 a 56 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 7,5 mm de espesor.

La junta vertical acanalada, ofrece valores de infiltración de agua prácticamente nulos por lo que la incidencia de la misma solo se tiene en cuenta en el sistema de juntas combinadas horizontales y verticales, en donde la junta vertical actúa de desagüe de la junta horizontal.

e. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical acanalada y horizontal lisa de 10 mm.

Se procede a continuación a la modificación de la amplitud de las juntas hasta los 10 mm para realizar los ensayos que describimos a continuación.

ENSAYO TIPO 57: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN.
Duración: 24 minutos

En la junta horizontal lisa de 10 mm de espesor no se produce ningún obstáculo que impida el acceso del agua a través de ella hacia la cámara. El canto inferior de la junta horizontal está siempre húmedo.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 46,94 litros.

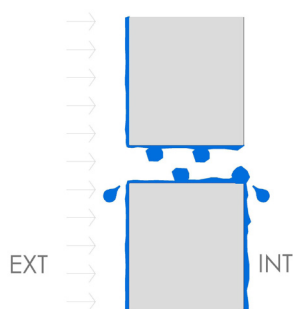


Figura 5.4.2.12 Esquema del comportamiento del agua en la junta horizontal lisa de 10 mm.



Figura 5.4.2.13 Vista desde el interior de la cámara de la junta horizontal lisa de 10 mm.

ENSAYO TIPO 58: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Al igual que en los ensayos anteriores con la amplitud de junta de 10 mm no se generan taponamientos que obstruyan la infiltración del agua a través de la junta.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 16,16 litros.



Figura 5.4.2.14 Vista desde el interior de la cámara de la infiltración de agua a través de la junta horizontal lisa de 10 mm.

ENSAYO TIPO 59: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

En este caso se observa nuevamente que no se generan meniscos en las juntas horizontales. El agua resbala desde la junta horizontal por las piedras inferiores.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 40,24 litros.



Figura 5.4.2.14 Vista de la infiltración de agua a través de la junta horizontal lisa de 10 mm.

ENSAYO TIPO 60: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Se advierte que se producen los mismos recorridos del agua que en el ensayo anterior. Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 16,52 litros.



Figura 5.4.2.14 Vista de las gotas de agua en el canto de la junta horizontal lisa de 10 mm

f. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada y horizontal lisa de 10 mm.

Se resumen a continuación los datos de los ensayos del tipo 57 al tipo 60 correspondientes a junta vertical acanalada y horizontal lisa con espesores de 10 mm.

Tal y como se observa en los ensayos descritos hasta este punto de la investigación, se produce una mayor entrada de agua en la situación de fachada ventilada sin ecualización y con sobrepresión, obteniéndose una infiltración de agua del 36,28 % en relación al agua

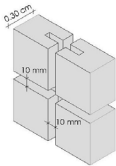
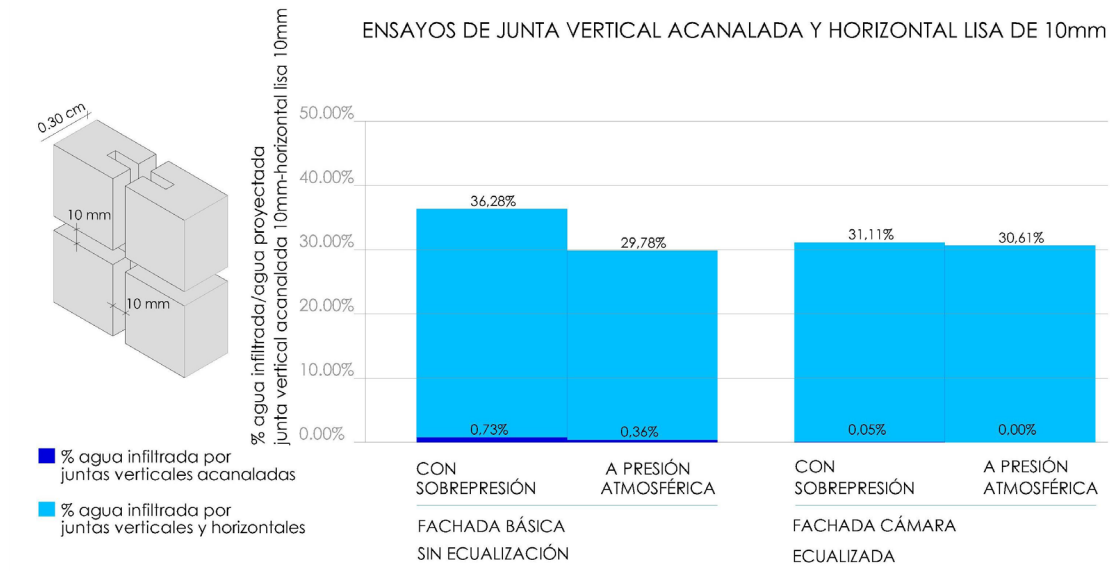
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA 10mm				
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,39	5,44	5,39	5,39
AGUA INFILTRADA (litros)	46,94	16,16	40,24	16,52
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	36,28%	29,78%	31,11%	30,61%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	1,96	1,62	1,68	1,65
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	450	—	600	—

Tabla 5.4.2.3 Resultados de ensayos tipo 57 a 60 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 10 mm de espesor.



Gráfica 5.4.2.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 57 a 60 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 10 mm de espesor.

proyectada. Los tres tipos de ensayo restantes permiten prácticamente la misma infiltración de agua en proporción al tiempo expuesto. Con cámara ecualizada o sin ecualizar la ausencia de presión de aire conduce a datos iguales, del orden del 30 %. Con la cámara ecualizada con presión de aire, ocurre lo mismo ya que en esta se estabiliza y se igualan las presiones anulando las corrientes de aire.

Como se observa en el gráfico, la infiltración que se produce con juntas combinadas es muy superior a la producida con junta solamente vertical, lo que implica que el agua penetra por la junta horizontal usando únicamente la junta vertical como desagüe. De esta forma el agua cae en mayor o menor medida dentro de la cámara, dependiendo del sistema de anclaje de las piedras.

5.4.2.1 COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL LISA

Se recopilan en este apartado, todos los resultados obtenidos para las tres amplitudes de junta del prototipo de fachada ventilada con junta vertical acanalada y horizontal lisa. A partir de los mismos, se comparan y analizan para alcanzar los propósitos planteados.

La diferencia entre los distintos tipos de ensayo en este diseño de junta es casi imperceptible, oscilando entre un 6 y 7 %.

La infiltración menor en el caso más habitual, cámara ventilada con sobrepresión, se produce con la junta de 5 mm, siendo también la junta de 5mm, en las condiciones de cámara ecualizada a presión atmosférica, el caso más favorable de todas los planteados para el diseño de junta vertical acanalada y horizontal lisa. La infiltración de agua es directamente proporcional a la amplitud de la junta.

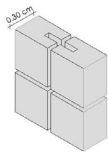
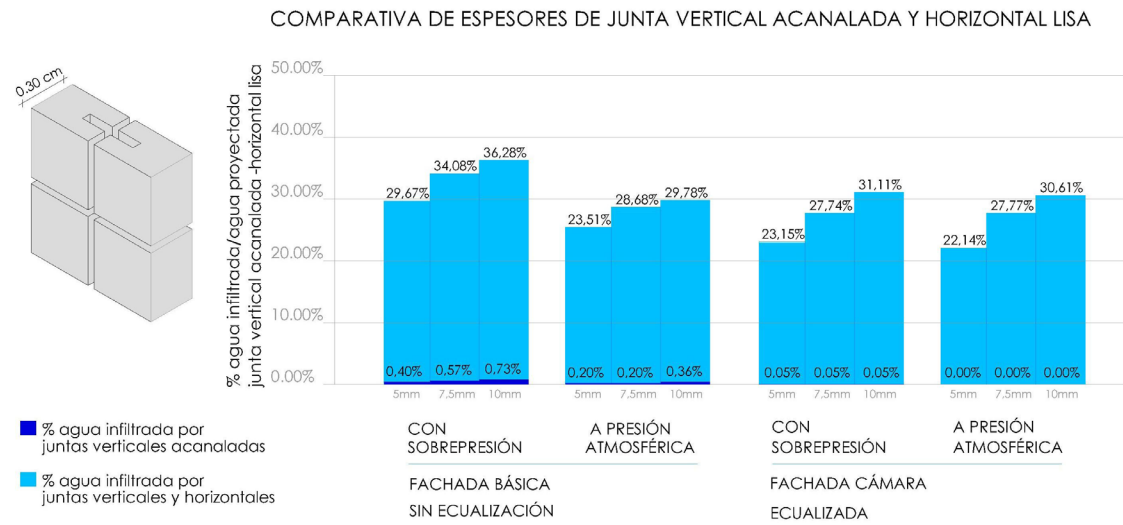
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN			FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
		ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5	5,37	5,40	5,36	5,33
	7,5	5,38	5,39	5,39	5,33
	10	5,39	5,44	5,39	5,39
AGUA INFILTRADA (litros)	5	38,24	12,70	29,78	11,76
	7,5	44,00	15,46	35,88	14,78
	10	46,94	16,16	40,24	16,52
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	5	29,67%	23,51%	23,15%	22,14%
	7,5	34,08%	28,68%	27,74%	27,77%
	10	36,28%	29,78%	31,11%	30,61%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	5	1,59	1,27	1,24	1,18
	7,5	1,83	1,55	1,49	1,48
	10	1,96	1,62	1,68	1,65
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	5	450	—	600	—
	7,5	450	—	600	—
	10	440	—	600	—

Tabla 5.4.2.4 Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 5, 7.5, 10 mm de espesor.

Cuando analizamos el diseño de junta únicamente vertical acanalada, en las condiciones de cámara sin ecualizar y sobrepresión, el agua que entraba era despreciable. Sin embargo combinándolo con junta horizontal lisa, aumenta la infiltración alrededor de un 30% en relación al agua proyectada. Este dato se asemeja al 34 % de media, de infiltración de agua, que indica D. Felipe G. Bescansa y D. Joaquín Fernández Madrid en el artículo “*Entrada de agua en aplacados ventilados de piedra*”¹, en el cual se estudia la infiltración a través de la junta horizontal lisa, en sus tres amplitudes. Así pues podemos concluir que el agua que penetra en la cámara a través de la junta vertical acanalada procede de la junta horizontal, actuando por lo tanto como elemento de drenaje de la misma.



Gráfica 5.4.2.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical acanalada y horizontal lisa.

1 G.Bescansa y F. Madrid 2014.

No se producen esta semejanza de resultados en el resto de ensayos tipo planteados, en los que no actúa la presión de aire o se anula la misma, para la combinación de junta vertical acanalada y horizontal lisa, siendo superior la infiltración cuando se combinan las juntas que cuando solo existe junta horizontal.

En el encuentro de la junta horizontal lisa con la junta vertical acanalada se produce un canal de desagüe de la junta horizontal. Se analiza a continuación esta situación y la influencia del diseño de la junta acanalada, y el sistema de anclaje de las piedras, en el porcentaje de infiltración de agua en la cámara.

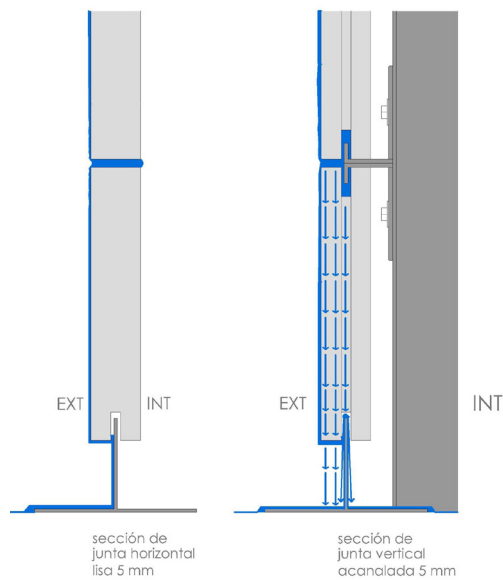


Figura 5.4.2.16 Esquema del agua que discurre por la junta vertical acanalada de 5 mm procedente de la junta horizontal.

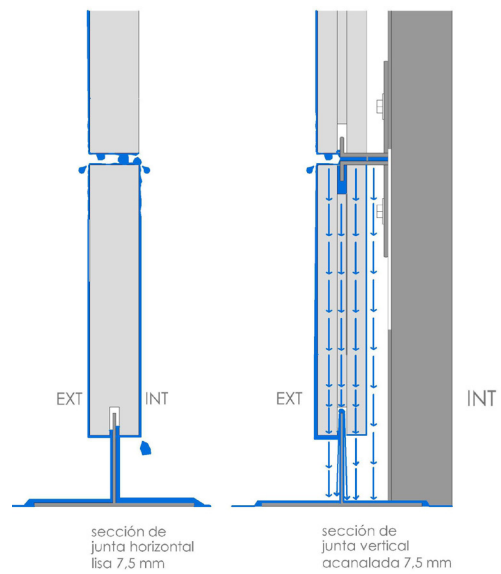


Figura 5.4.2.17 Esquema del agua que discurre por la junta vertical acanalada de 7,5 mm procedente de la junta horizontal.

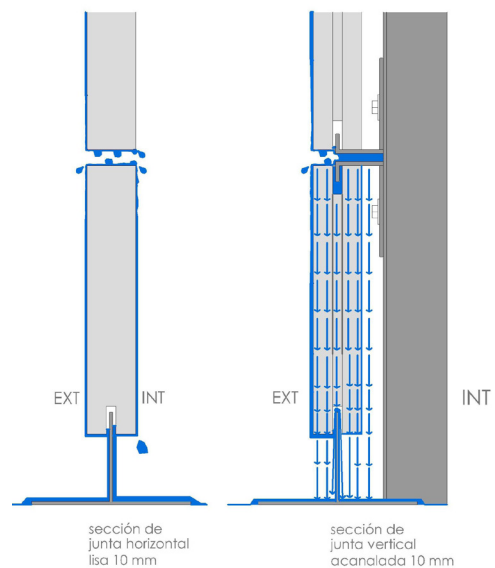


Figura 5.4.2.18 Esquema del agua que discurre por la junta vertical acanalada de 10 mm procedente de la junta horizontal.

En la junta horizontal lisa de 5 mm, se forma un menisco que limita la entrada de agua, aunque consigue infiltrarse debido a la presencia de la junta vertical por la cual desagua. El anclaje en uña limita el desagüe ya que el mismo obstruye parte del encuentro entre la junta vertical y horizontal. (Véase figura 5.4.2.16)

A su vez, en la junta horizontal lisa de 7,5 mm se forman pequeñas bolsas de agua que oscilan y se mueven a través de la misma, penetrando parte del agua a través de la junta horizontal y parte desaguando por la junta vertical. La uña que ancla las piedras ya no cierra el paso del agua en su unión. (Véase figura 5.4.2.17)

Sin embargo, en la junta horizontal lisa de 10 mm no actúa la tensión superficial y el sistema de anclaje de la subestructura permite el paso del agua, por lo que esta fluye hacia el interior de la cámara, desbordando por la junta horizontal y vertical sin encontrarse obstáculo que lo impida.

Tal y como se ha estudiado en los ensayos anteriores para la junta vertical acanalada, se analiza ahora, qué fuerzas han intervenido en los casos de aplacados con junta vertical acanalada y junta horizontal lisa.

Como ya se ha comentado, la fuerza gravitatoria únicamente colabora en la entrada de agua en la cámara, una vez que han actuado otras fuerzas que introducen el agua y este caiga por su propio peso. La energía cinética actúa en presencia de la acción del viento.

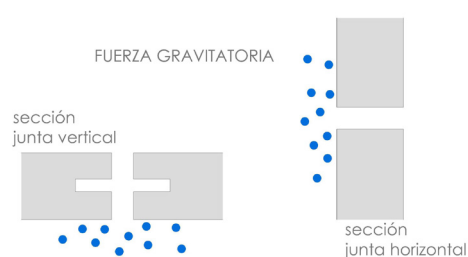


Figura 5.4.2.19 Esquema de la fuerza gravitatoria en junta vertical acanalada y horizontal lisa.

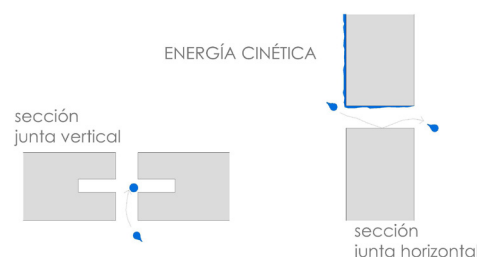
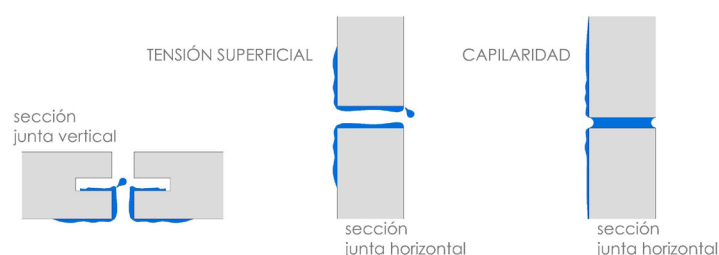


Figura 5.4.2.20 Esquema de la energía cinética en junta vertical acanalada y horizontal lisa.

La tensión superficial, actúa siempre de manera que un pequeño porcentaje de agua llega a penetrar en la cámara. La fuerza de capilaridad en junta vertical en este caso no actúa. Como se ha comentado en la observación de los ensayos no se produce ningún menisco en la junta vertical acanalada, ni tan siquiera en amplitudes de 5 mm. Sin embargo en la junta horizontal lisa sí se produce capilaridad, desapareciendo la misma en la amplitud de 7,5 mm.



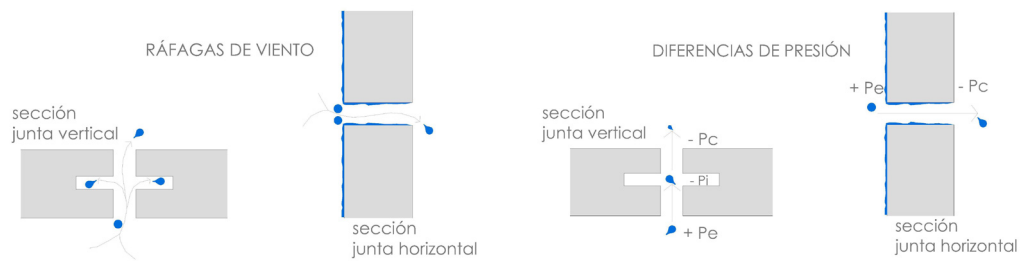
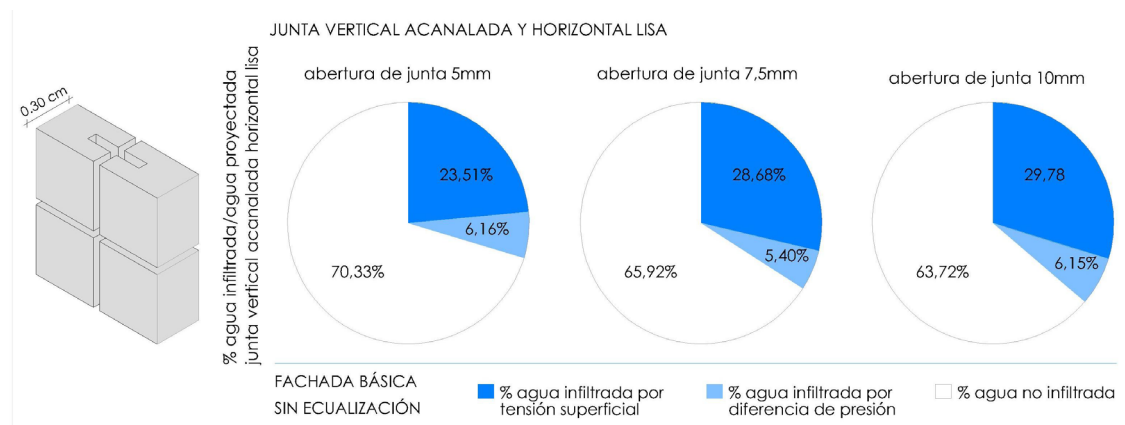


Figura 5.4.1.22 Esquemas de la diferencia de presión y ráfagas de viento en junta vertical acanalada y horizontal lisa.

Las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se pueden asimilar una a la otra y son las fuerzas que producen mayor entrada de agua, pues ambas se convierten en masas de aire que al infiltrarse por la junta arrastran gotas de agua al interior de la cámara. Las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se anulan cuando la cámara está ecualizada.

Del análisis, mediante los ensayos realizados, de las distintas situaciones a las que se expone una fachada ventilada, podemos discriminar cuanta cantidad de agua se infiltra por tensión superficial y caunta por diferencias de presión. Se realiza esta gráfica únicamente para la fachada básica sin ecualizar, en ambos estados de presión de aire y ausencia del mismo, ya que con la fachada ecualizada los resultados se igualan a la situación de presión atmosférica.

La variación del agua infiltrada por tensión superficial, según el espesor de junta, es proporcional a la amplitud de la misma, obteniendo el menor valor en la junta de 5 mm con



Gráfica 5.4.1.5 Porcentaje de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión en relación al agua proyectada para una fachada sin ecualizar con junta vertical acanalada y horizontal lisa.

una infiltración del 23,51 % respecto al agua proyectada.

El porcentaje de infiltración de agua debido a las diferencias de presión es similar en las tres amplitudes de junta. Ello es debido a que la acanaladura en la junta vertical, provoca que la velocidad del aire al pasar por la misma disminuya, causando que el agua de la junta horizontal que desagua por la misma, no se infiltre en la cámara, sino que discorra por la acanaladura, entrando únicamente parte de la misma en la cámara.

Por lo tanto la mayor infiltración de agua se produce en situación de cámara sin ecualizar y sobrepresión, aunque es la tensión superficial la fuerza que marca la diferencia en el porcentaje de entrada de agua en la cámara según la amplitud de la junta horizontal lisa, siendo 5 mm la más favorable. Se ha demostrado en esta combinación que la amplitud de la junta vertical acanalada no influye en la cantidad de agua infiltrada, aunque su presencia y diseño si condiciona de forma decisiva la misma, al igual que el tipo de anclaje de las piedras.

5.4.3 ENSAYOS JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA.

Se prepara de nuevo el dispositivo con las piedras modificadas en sus cantos verticales para obtener una junta rebajada.

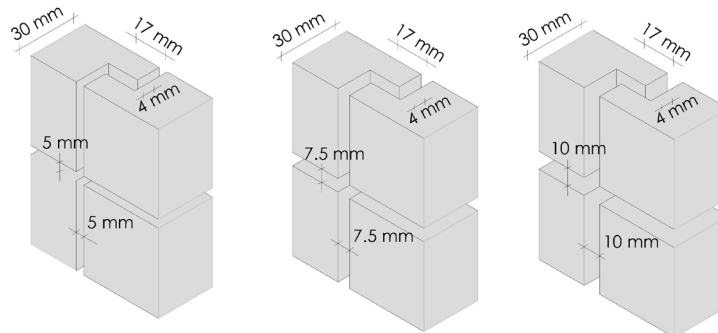


Figura 5.4.3.1 Esquema de junta vertical rebajada y horizontal lisa para las amplitudes de 5, 7.5, 10 mm.

a. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical rebajada y horizontal lisa de 5 mm.

ENSAYO TIPO 61: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Transcurridos 40 segundos desde el inicio del ensayo, se observa que ya se ha generado un menisco en la junta horizontal, comprobándose a su vez que el agua entra en la cámara por la junta vertical. Se observa a su vez, que en la base de la cámara se han acumulado unos 10 mm de agua.



Figura 5.4.3.2 Vista del agua que desborda por la junta horizontal lisa.

Avanzado un minuto desde el inicio del ensayo, continúa observándose el menisco en la junta horizontal, aunque se rompe en algunos puntos que desbordan por la superficie de las piedras inferiores.



Figura 5.4.3.3 Vista del agua que rebosa por la junta horizontal lisa.



Figura 5.4.3.4 Vista del taponamiento de la junta horizontal lisa de 5 mm que desborda por zonas puntuales.

Transcurridos 4 minutos, se aprecia que el agua, que se infiltra debido al desbordamiento del menisco, aumenta con la entrada del siguiente escalón de presión de aire.

Se aprecia con claridad caer el agua por la junta vertical rebajada, detrás del perfil en T vertical. A su vez, se produce un canal de agua continuo que procede del desagüe de la junta horizontal principalmente y de la que se infiltra por tensión superficial y diferencia de presión.

A los 10 minutos las piedras laterales están totalmente mojadas, sin embargo, la del centro aún conserva alguna zona seca. Aunque ya se observa la infiltración de agua en la cámara desde la junta horizontal de forma más continua, se ha roto el menisco debido al aumento de la presión de aire.

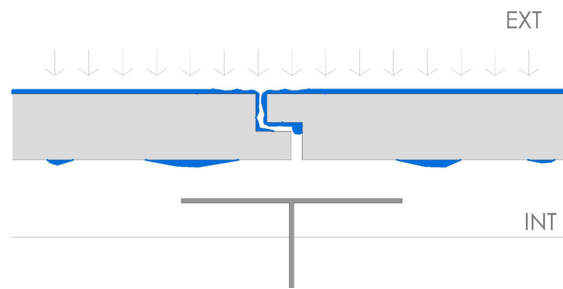


Figura 5.4.3.5 Esquema de cómo el agua se introduce a través de la junta vertical rebajada.

Como el perímetro está perfectamente sellado, no se infiltra agua en la cámara que no se produzca por las juntas estudiadas.

A los 18 minutos las bolsas de agua que se producen en la junta horizontal de 5 mm están completamente desbordadas y a los 24 minutos las piedras inferiores se advierten mojadas en su totalidad. Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 64,98 litros.



Figura 5.4.3.6 Vista del taponamiento de la junta horizontal lisa de 5 mm que desborda por zonas puntuales.

ENSAYO TIPO 62: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA.
Duración: 10 minutos

Al igual que en el ensayo anterior se genera una bolsa en toda la junta horizontal, y se aprecia como el agua cae por la junta vertical, detrás de los perfiles en T verticales, entrando parcialmente en la cámara.

La bolsa de agua que se genera en la junta horizontal continúa durante todo el ensayo. Al no proyectarse presión de aire únicamente entra agua por la junta vertical.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 36,30 litros.

ENSAYO TIPO 63: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Al inicio del ensayo se genera un menisco en la junta horizontal, el agua entra por las juntas verticales en la cámara.

A los 5 minutos de realización del ensayo, continúa la bolsa de agua en la junta horizontal y no se observa goteo de la misma por las piedras inferiores.

A los 10 minutos sigue la bolsa de agua presente en la junta horizontal no apreciándose entrada de agua hacia el interior de la cámara por la misma ya que no se observa agua en el perfil inferior ni en la piedra, aunque esté mojada.



Figura 5.4.3.7 Vista del taponamiento de la junta horizontal lisa de 5 mm .

A los 16 minutos continúa sin romperse la bolsa, no hay presencia de gotas en las piedras inferiores ni en el perfil que las sustenta. Es importante señalar que no se rompe la bolsa con la entrada de ningún escalón de presión de aire.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 14,96 litros.

ENSAYO TIPO 64: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Como en todos los ensayos de junta horizontal lisa, se genera un menisco en la misma y el agua se infiltra por la junta vertical. Se aprecia perfectamente, aunque esté la piedra mojada ya que no se observan gotas de agua en el perfil en T inferior.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 14,92 litros.



Figura 5.4.3.8 Vista del ensayo de junta vertical rebajada y horizontal lisa.

b. Resultados e interpretación. Junta vertical rebajada y horizontal lisa de 5 mm.

Se recogen a continuación, en la siguiente tabla, los resultados de los ensayos realizados para la junta vertical rebajada y horizontal lisa con espesores de junta de 5 mm.

La menor infiltración de agua en la cámara, se produce en la situación de cámara ecualizada, con sobrepresión o presión atmosférica, y cámara sin ecualizar a presión atmosférica, siendo del orden del 28 % en relación al agua proyectada.

La mayor infiltración de agua es de 49,50 % y se produce en situaciones de cámara sin ecualizar y sobrepresión, que corresponde a la realidad constructiva de este tipo de cerramientos.

La incidencia de la junta vertical en el diseño del cerramiento con juntas verticales y horizontales, radica en el funcionamiento de esta como desagüe de la junta horizontal,

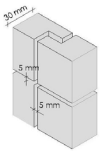
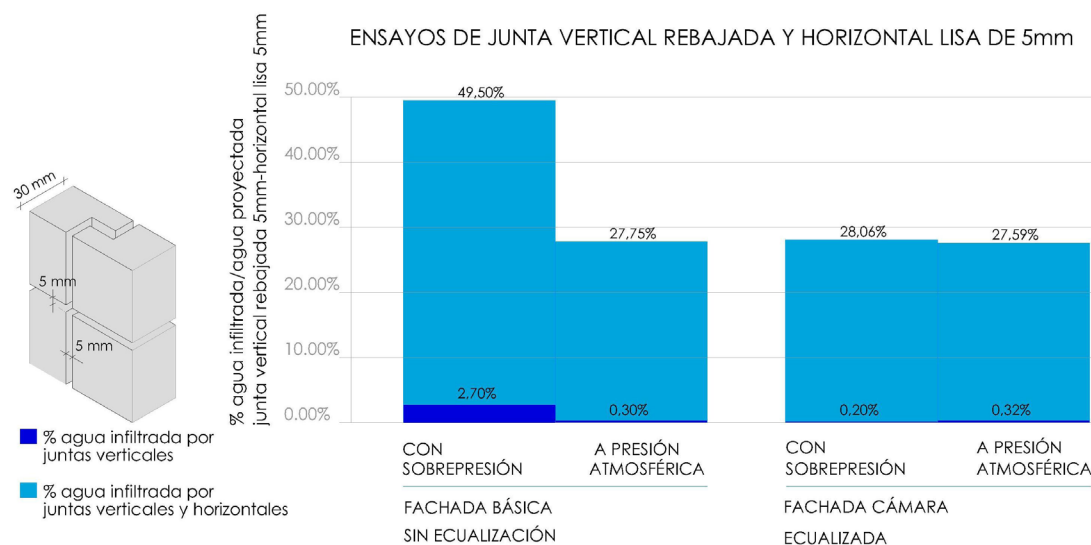
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA 5mm				
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,47	5,39	5,39	5,40
AGUA INFILTRADA (litros)	64,98	14,96	36,30	14,92
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	49,50%	27,75%	28,06%	27,59%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	2,70	1,50	1,51	1,49
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	450	—	600	—

Tabla 5.4.3.1 Resultados de ensayos tipo 61 a 64 de fachada ventilada de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 5 mm de espesor.



Gráfica 5.4.3.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 61 a 64 de fachada ventilada de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 5 mm de espesor.

ya que como observamos en la gráfica anterior la infiltración de agua a través de la junta vertical, cuando solo existe esta, es de 2,70 % y prácticamente nula en las situaciones más favorables de cámara ecualizada o ausencia de presión de aire.

c. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical rebajada y horizontal lisa de 7,5 mm.

ENSAYO TIPO 65: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Se observa al comienzo del ensayo fluir el agua con rapidez por las juntas, tanto por la junta vertical como por la horizontal que se tapona, aunque se desborda con la presión de aire. Las gotas de agua se mueven entre el canto de la junta horizontal.



Figura 5.4.3.9 Vista de agua al infiltrarse por la junta horizontal lisa de 7,5 mm.

En el minuto 8, el agua entra continuamente, ya no hay bolsas, sólo pequeñas gotas, burbujas que se mueven y entran mas rápido.

El perímetro de las piedras se encuentra perfectamente sellado, no se infiltra agua que no sea la que penetre por las juntas estudiadas.

No se observa taponamiento de agua en la junta horizontal. Con la presión de aire se rompe completamente.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 57,5 litros.

ENSAYO TIPO 66: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Advertimos como se generan pequeñas bolsas de agua, entre los cantos de la piedra que conforma la junta horizontal, penetrando por sus vacíos, hacia el interior de la cámara y resbalando por el trasdós.

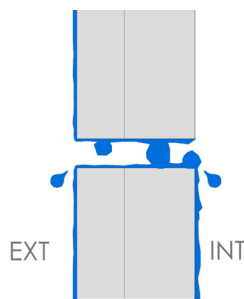


Figura 5.4.3.10 Esquema de agua en la junta horizontal lisa de 7,5 mm.

Las gotas de agua se desplazan a lo largo de la amplitud de la junta pero no desaparecen durante la realización del ensayo.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 10,90 litros.

ENSAYO TIPO 67: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Al comienzo del ensayo se aprecia un menisco de agua continuo durante unos segundos, para convertirse seguidamente en gotas de agua que se desplazan a lo largo de la amplitud de la junta rompiéndose en algunos casos, debido a la presión de aire proyectada.

Transcurridos 3 minutos el agua desborda por la junta horizontal. Se genera así, una zona de bolsa centralizada que se va desplazando entre los cantos de la junta. Estas bolsas permanecen hasta el final del ensayo.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 23,66 litros.

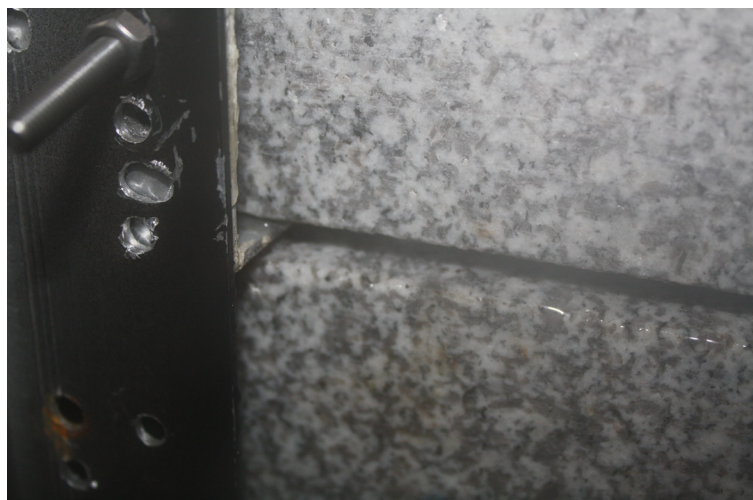


Figura 5.4.3.11 Vista de agua al infiltrarse por la junta horizontal lisa de 7,5 mm.

ENSAYO TIPO 68: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Se generan las bolsas de agua en el interior de la junta horizontal, desplazándose y deslizándose por la piedra. Se observan líneas de agua continuas en el perfil inferior. Se perciben perfectamente, como desborda el agua por la junta horizontal aunque esta tenga zonas embolsadas. Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 10,56 litros.

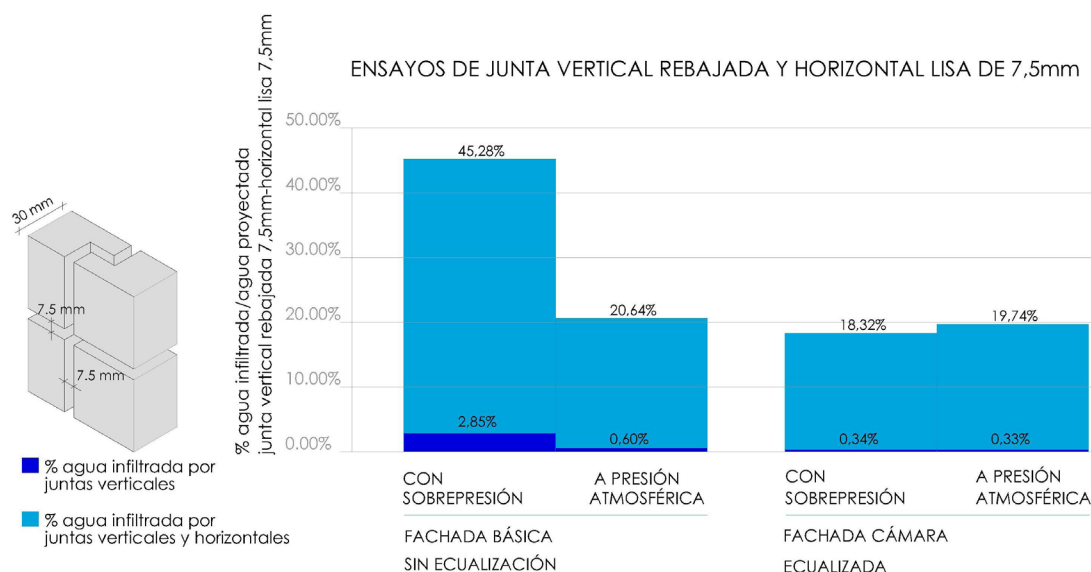
d. Resultados e interpretación. Junta vertical rebajada y horizontal lisa de 7,5 mm.

Se recopilan a continuación en la siguiente tabla, los resultados obtenidos de los ensayos realizados para el diseño de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 7,5 mm.

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA 7,5mm

	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,29	5,28	5,38	5,37
AGUA INFILTRADA (litros)	57,5	10,90	23,66	10,56
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	45,28%	20,64%	18,32%	19,74%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	2,39	1,09	0,99	1,06
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	450	—	600	—

Tabla 5.4.3.2 Resultados de ensayos tipo 65 a 68 de fachada ventilada de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 7,5 mm de espesor.



Gráfica 5.4.3.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 65 a 68 de fachada ventilada de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 7,5 mm de espesor.

Como se puede observar, la menor infiltración de agua en la cámara es del valor de 18,32 % en relación al agua proyectada, y se produce en la situación de cámara ecualizada. Valor muy próximo a la infiltración de agua que se produce en la situación de ausencia de presión de aire, indiferentemente del grado de confinamiento de la cámara.

La mayor infiltración de agua es de 45,28 % y se produce en situaciones de cámara sin ecualizar y sobrepresión, que corresponden a la realidad constructiva de este tipo de cerramientos.

La incidencia de la junta vertical en el diseño del cerramiento con juntas verticales y horizontales radica en su funcionamiento como desagüe de la junta horizontal, ya que como observamos en la gráfica anterior la infiltración de agua a través de la junta vertical, cuando solo existe esta, es de 2,85 % y prácticamente nula en las situaciones más favorables de cámara ecualizada o ausencia de presión de aire.

e. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical rebajada y horizontal lisa de 10 mm.

Se relacionan a continuación los ensayos tipo 69, 70, 71 y 72 matizando en cada uno de ellos las observaciones correspondientes.

ENSAYO TIPO 69: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

En la junta horizontal de 10 mm, no se genera ningún menisco de agua entre los cantos. Se observa perfectamente las gotas de agua que discurren desde el inicio del ensayo por las piedras inferiores. Las piedras superiores se encuentra sin embargo, solamente humedecidas en la esquina con la junta por efecto de la capilaridad.



Figura 5.4.3.12 Vista de agua al infiltrarse por la junta horizontal lisa de 10 mm.



Figura 5.4.3.13 Vista de las burbujas de agua que se generan en la junta horizontal lisa de 10 mm.

El perímetro se encuentra perfectamente sellado, no observándose infiltraciones de agua que no se produzcan por las juntas a estudiar.

Por la junta vertical rebajada, se observa que el agua se infiltra con menos fuerza que la producida cuando la junta tenía una amplitud de 5 mm.



Figura 5.4.3.14 Vista desde la cámara de la humedad en las piedras inferiores al finalizar el ensayo de junta vertical rebajada y horizontal lisa con cámara sin ecualizar y sobrepresión.

Las piedras por su parte trasera, en la cara donde se proyecta el agua, están totalmente húmedas como era predecible.

A los 11 minutos de iniciado el ensayo, hay zonas de la piedra en la cara interior de la cámara que están secas y permanecen así hasta casi finalizado el ensayo.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 39,46 litros.

ENSAYO TIPO 70: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 13,64 litros.

ENSAYO TIPO 71: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA ECUALIZADA. SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Observamos el agua discurrir por las piedras inferiores con mucha fluidez, salpicando al tocar el suelo de la cámara.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 29,12 litros.

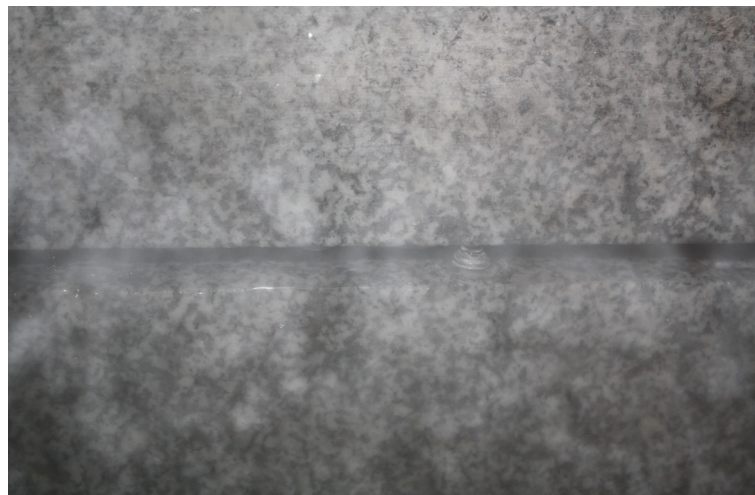


Figura 5.4.3.15 Vista de agua al infiltrarse por la junta horizontal lisa de 10 mm.

ENSAYO TIPO 72: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

El agua se infiltra a través de la junta horizontal lisa. Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 11,80 litros.

f. Resultados e interpretación. Junta vertical rebajada y horizontal lisa de 10 mm.

Se resumen a continuación los datos de los ensayos del tipo 69 al tipo 72 correspondientes a junta vertical rebajada y horizontal lisa con espesores de 10 mm.

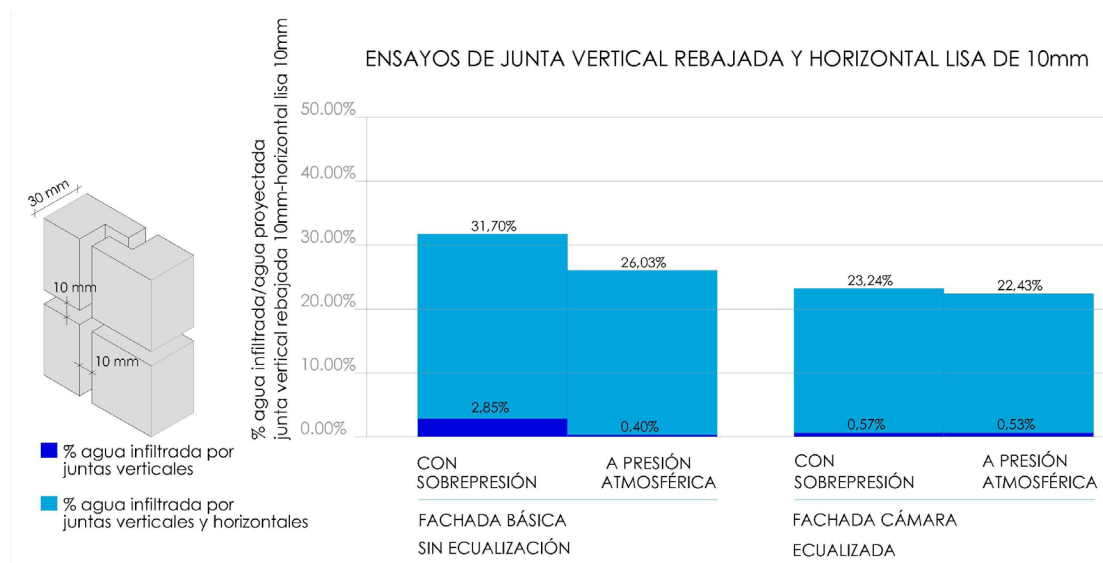
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA 10mm

	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,19	5,24	5,22	5,26
AGUA INFILTRADA (litros)	39,46	13,64	29,12	11,80
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	31,70%	26,03%	23,24%	22,43%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	1,64	1,36	1,21	1,18
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	450	—	600	—

Tabla 5.4.3.3 Resultados de ensayos tipo 69 a 72 de fachada ventilada de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 10 mm de espesor.

Como se puede observar, la menor infiltración de agua en la cámara es del 22,43 % en relación al agua proyectada y se produce en la situación de cámara ecualizada a presión atmosférica, siendo ligeramente superior en la misma situación en presencia de aire.

A su vez, la mayor infiltración de agua es de 31,70 % y se produce en situaciones de cámara sin ecualizar y sobrepresión, que corresponden a la realidad constructiva de este tipo de cerramientos. Señalar que no existe un margen de infiltración de agua muy superior al que se produce en la misma situación a presión atmosférica, solamente un 5 % de diferencia.



Gráfica 5.4.3.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 69 a 72 de fachada ventilada de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 10 mm de espesor.

De nuevo observamos que la incidencia de la junta vertical, en el diseño del cerramiento con juntas verticales y horizontales, radica en su funcionamiento como desagüe de la junta horizontal, ya que como observamos en la gráfica anterior la infiltración de agua a través de la junta vertical, cuando solo existe esta, es del 2,85%, siendo prácticamente nula en las situaciones más favorables de cámara ecualizada o ausencia de presión de aire.

5.4.3.1 COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA

A continuación, se analizan los resultados de este bloque de ensayos para la junta vertical rebajada y horizontal lisa en sus tres amplitudes 5, 7.5 y 10 mm.

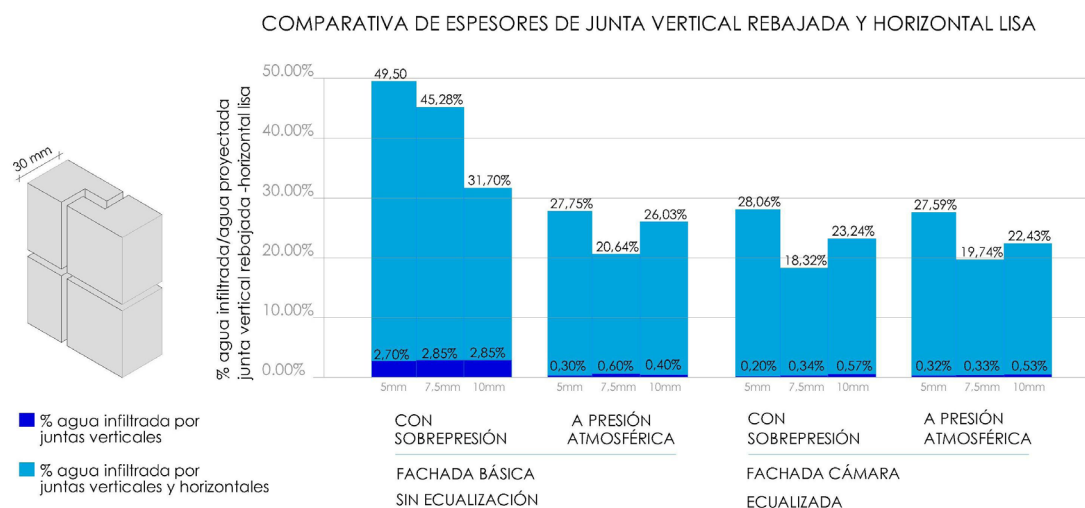
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA

			FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
			ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5	espesor de junta en mm	5,47	5,39	5,39	5,40
	7,5		5,29	5,28	5,38	5,37
	10		5,19	5,24	5,22	5,26
AGUA INFILTRADA (litros)	5	espesor de junta en mm	64,98	14,96	36,30	14,92
	7,5		57,50	10,90	23,66	10,56
	10		39,46	13,64	29,12	11,80
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	5	espesor de junta en mm	49,50%	27,75%	28,06%	27,59%
	7,5		45,28%	20,64%	18,32%	19,74%
	10		31,70%	26,03%	23,24%	22,43%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	5	espesor de junta en mm	2,70	1,50	1,51	1,49
	7,5		2,39	1,09	0,99	1,06
	10		1,64	1,36	1,21	1,18
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	5	espesor de junta en mm	450	—	600	—
	7,5		450	—	600	—
	10		440	—	600	—

Tabla 5.4.3.4 Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 5, 7.5, 10 mm de espesor.

La infiltración de agua, en la situación más habitual de construcción de cerramientos con cámara ventilada, cámara sin ecualizar y con sobrepresión, se produce en menor incidencia en la junta de 10 mm.

Como observamos en los ensayos realizados, únicamente con junta vertical rebajada, el agua entraba en igual proporción en los tres espesores de juntas ensayados. De lo cual, se deduce que la mayor entrada de agua se produce por la junta horizontal lisa y en cantidades inversamente proporcionales al espesor de la junta. Al igual que en ensayos anteriores, el aumento de velocidad del aire al pasar por la junta de 5 mm arrastra mayor cantidad de agua, provocando a su vez una mayor infiltración en el menor espesor de junta. Aunque con 5 mm se produce un taponamiento, este desborda por la junta horizontal cuando se produce un aumento de la presión de aire.



Gráfica 5.4.3.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical rebajada y horizontal lisa.

La proporción de infiltración de entrada de agua únicamente por junta vertical rebajada es del 2,85%, en relación al agua proyectada, pasando a ser del 31,70%, en el caso más favorable de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 10 mm de espesor.

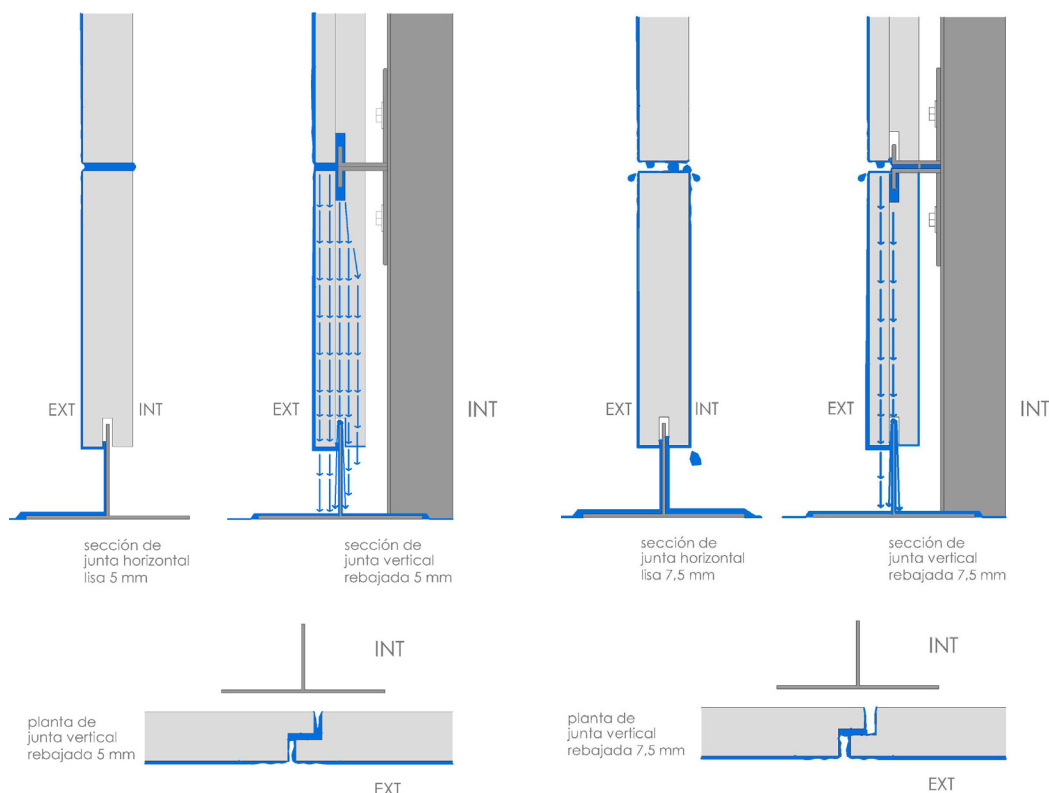


Figura 5.4.3.16 Esquema del agua que discurre por la junta vertical rebajada de 5 mm procedente de la junta horizontal.

Figura 5.4.3.17 Esquema del agua que discurre por la junta vertical rebajada de 7,5 mm procedente de la junta horizontal.

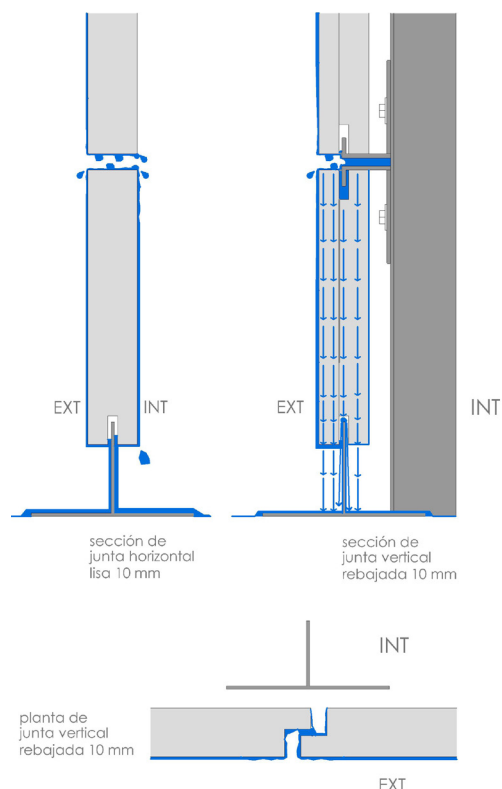


Figura 5.4.3.18 Esquema del agua que discurre por la junta vertical rebajada de 10 mm procedente de la junta horizontal.

En la junta horizontal lisa de 5 mm se origina un taponamiento, que no permite la entrada directa a través de la misma, aunque el agua desborda por gravedad en su encuentro con la junta vertical, provocando un efecto de succión y absorbiendo el agua que discurre por la pared exterior. Parte de este agua se infiltra en la cámara a través de la junta vertical rebajada.

Con ecualización de cámara o con cámara ventilada a presión atmosférica la entrada menor se produce con junta de 7,5 mm. Esto es debido principalmente a que en la junta horizontal lisa de 7,5 mm se originan burbujas de agua parciales que obstruyen la entrada de todo el agua que discurre por la parte exterior, permitiendo únicamente un acceso parcial, aunque a su vez tampoco fluye en tanta cantidad hacia la junta vertical que actúa como desagüe ya que no se genera un canal que la absorba a su paso, como ocurre con la junta de 5 mm. (Véase figura 5.4.3.16 y 5.4.3.17)

Sin embargo, con la junta horizontal lisa de 10 mm, no se forman burbujas de agua y esta no encuentra obstáculos en su recorrido por tensión superficial hacia el interior, por lo que parte del agua se infiltra por la misma y parte desagua por la junta vertical. (Véase figura 5.4.3.18)

Tal y como se ha realizado en los ensayos anteriores para la junta vertical rebajada, se analiza ahora, qué fuerzas han intervenido en los casos de aplacados con junta vertical rebajada y junta horizontal lisa.

La fuerza gravitatoria únicamente colabora en la entrada de agua en la cámara, una vez que han actuado otras fuerzas, y esta cae por su propio peso. La energía cinética actúa en presencia de la acción del viento.

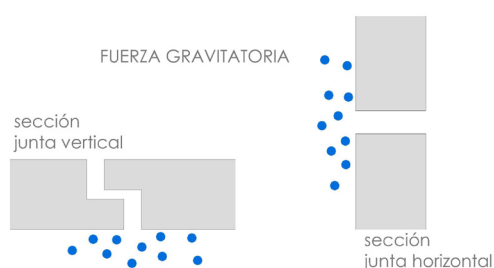


Figura 5.4.3.16 Esquema de la fuerza gravitatoria en junta vertical rebajada y horizontal lisa.

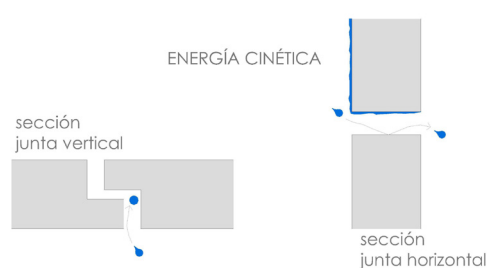


Figura 5.4.3.17 Esquema de la energía cinética en junta vertical rebajada y horizontal lisa.

La tensión superficial actúa siempre de manera que un pequeño porcentaje de agua llega a penetrar en la cámara. La fuerza de capilaridad en junta vertical rebajada interviene, a su vez, en el canal que forman los rebajes del canto con una separación entre ellos de 4mm. En la junta horizontal lisa sin embargo, sí se produce capilaridad con amplitudes de 5mm, desapareciendo la misma en la amplitud de 7,5 mm.

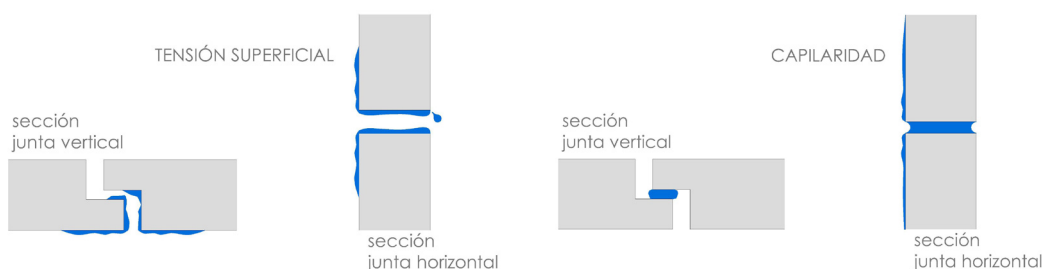


Figura 5.4.3.18 Esquema de la tensión superficial y la capilaridad en junta vertical rebajada y horizontal lisa.

Las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se pueden asimilar una a la otra, siendo estas las fuerzas que producen mayor entrada de agua, pues ambas se convierten en masas de aire que al infiltrarse por la junta arrastran gotas de agua al interior de la cámara. Las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se anulan cuando la cámara está ecualizada.

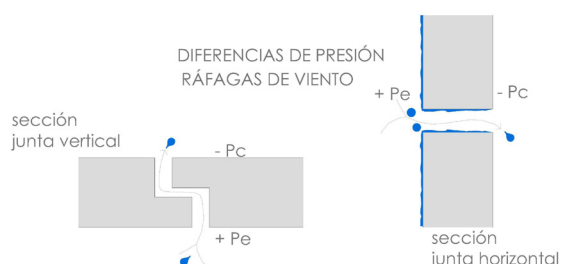
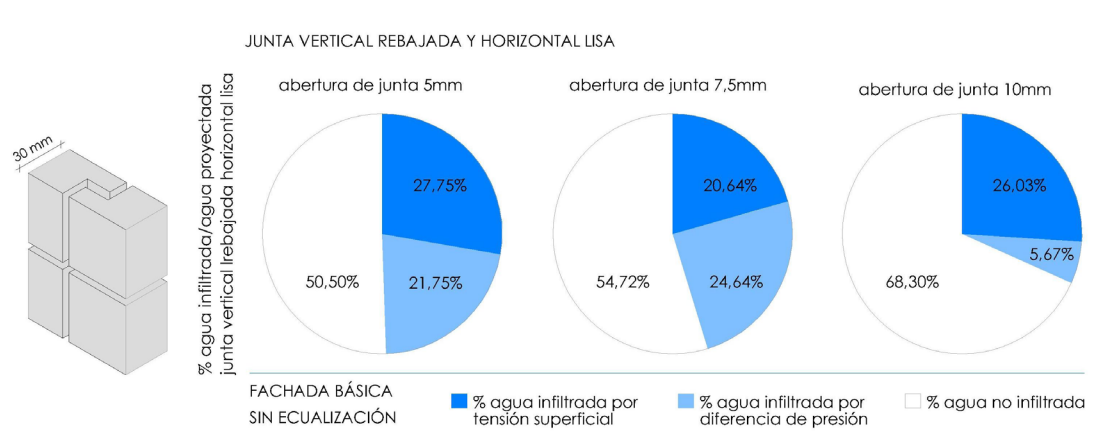


Figura 5.4.1.19 Esquemas de la diferencia de presión y ráfagas de viento en junta vertical rebajada y horizontal lisa.

Del análisis de las distintas situaciones, a las que se expone una fachada ventilada, podemos discriminar, mediante los ensayos realizados, cuanta cantidad de agua se infiltra por tensión superficial y cuanta por diferencias de presión. Se realiza a continuación la siguiente gráfica únicamente para analizar la fachada básica sin ecualizar, en ambos estados de presión de aire y ausencia del mismo, ya que con la fachada ecualizada los resultados se igualan a la situación de presión atmosférica.



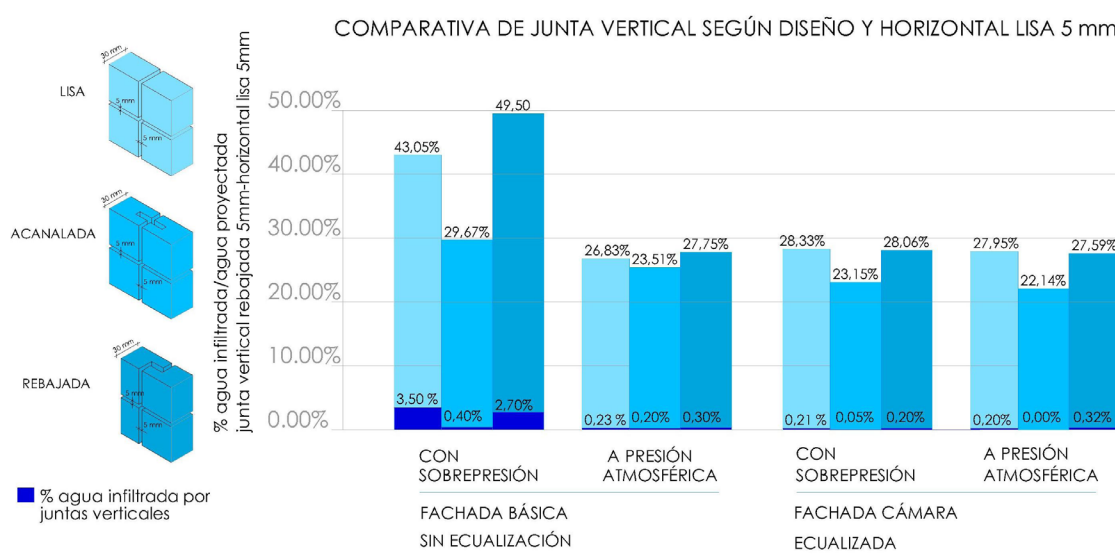
Gráfica 5.4.3.5 Porcentajes de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión en relación al agua proyectada para una fachada sin ecualizar con junta vertical acanalada y horizontal lisa.

A su vez podemos observar, que la mayor cantidad de agua se introduce por tensión superficial, en la junta de 5 mm de espesor, ello es debido a que se produce un canal en la junta horizontal lisa que absorbe el agua que desagua por la junta vertical rebajada. Con 10 mm de espesor no se produce este efecto, aunque el agua tampoco se encuentra con obstáculos que le impidan atravesar la misma por tensión superficial. Sin embargo en el caso de amplitudes de 7,5 mm las burbujas de agua que se generan en el canto de la junta horizontal lisa, sí impiden el fluir continuo hacia dentro de la cámara provocando que se infiltre menor cantidad.

Respecto al agua infiltrada por diferencias de presión, nos encontramos un resultado muy dispar, ello es debido a diversos motivos; por un lado, en las juntas de 5 y 7,5 mm, el efecto de la ecuación de continuidad, genera que se arrastre una cantidad de agua muy similar. La junta vertical rebajada, genera un conducto similar en ambos espesores de junta, que provoca que el aire a su paso por el mismo arrastre el agua hacia el interior. Sin embargo, para amplitudes de 10 mm, aunque este conducto exista igualmente en la junta vertical rebajada, la amplitud de la junta horizontal lisa disminuye la cantidad de agua que se infiltra por la misma no llegando a desagua por la junta vertical rebajada.

5.4.4. COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL DISEÑO DE JUNTA VERTICAL Y HORIZONTAL LISA

En los ensayos de combinación de junta vertical y junta horizontal, el comportamiento de las juntas actuantes, se modifica respecto a la junta únicamente vertical. La superficie de exfiltración de aire es superior y el recorrido del agua a través de las juntas, se ve modificado por las intersecciones de ambas, junta vertical y junta horizontal.



Gráfica 5.4.4.1 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según diseño de junta vertical y horizontal lisa para 5 mm de espesor.

Como se indicó anteriormente, en situaciones de presión atmosférica, independientemente del grado de confinamiento de la cámara, los valores de infiltración de agua a través de las juntas son similares y se igualan a las condiciones de cámara ecualizada y sobrepresión, ya que en ésta se anulan las diferencias de presión entre exterior e interior y por lo tanto no existen movimientos de masas de aire. Esto sucede en cada diseño de junta vertical y para todas las amplitudes, siendo las diferencias insignificantes.

La mayor infiltración de agua, que se produce en la situación más habitual de este sistema constructivo, cámara sin ecualizar y sobrepresión, es del 49,50 % para la junta vertical rebajada y horizontal lisa, siendo la menor infiltración de un 30 % para la junta vertical acanalada y horizontal lisa. La diferencia entre este valor y el que se produce en situación de ausencia de presión de aire es solamente de un 8 %, lo que nos indica que la junta vertical acanalada, combinada con la junta horizontal lisa, consigue anular parte del agua infiltrada por diferencias de presión ante otros diseños. Esto es debido a la propia acanaladura, que genera un cambio de sección en el recorrido del aire disminuyendo la velocidad del mismo al pasar por la acanaladura y provocando que el agua que arrastra, caiga por gravedad en la misma, vertiendo parte fuera de la cámara.

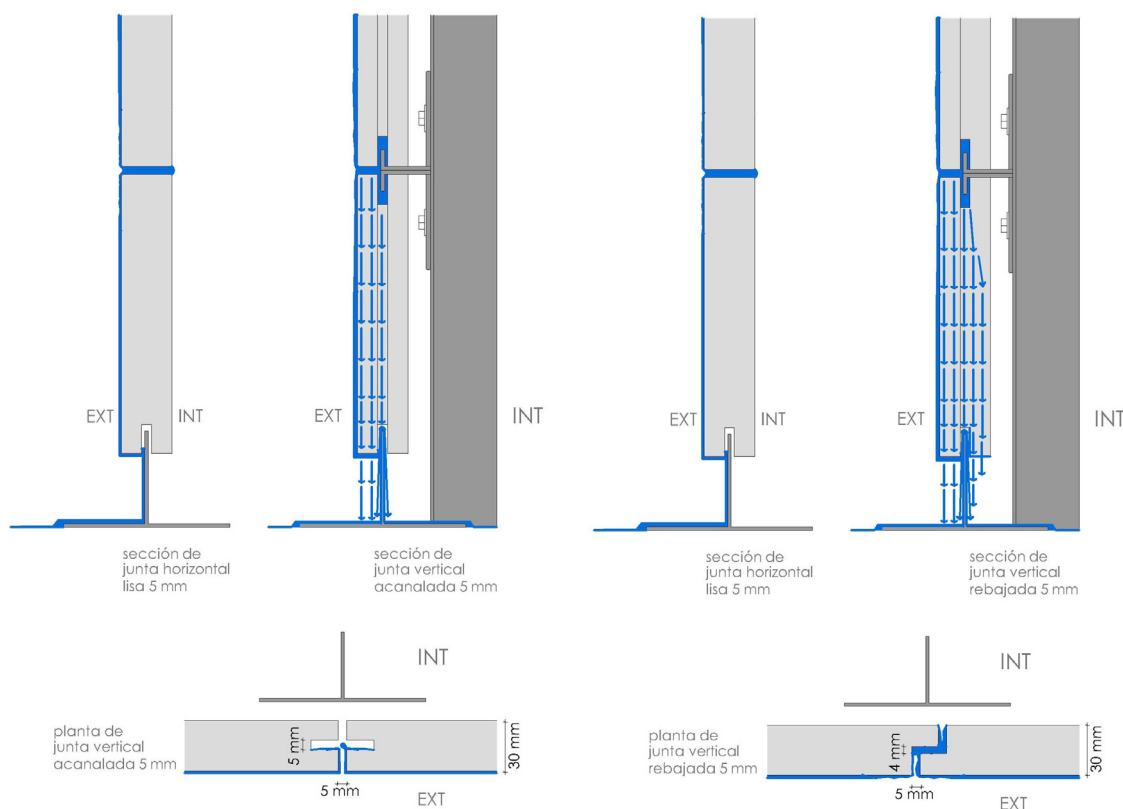
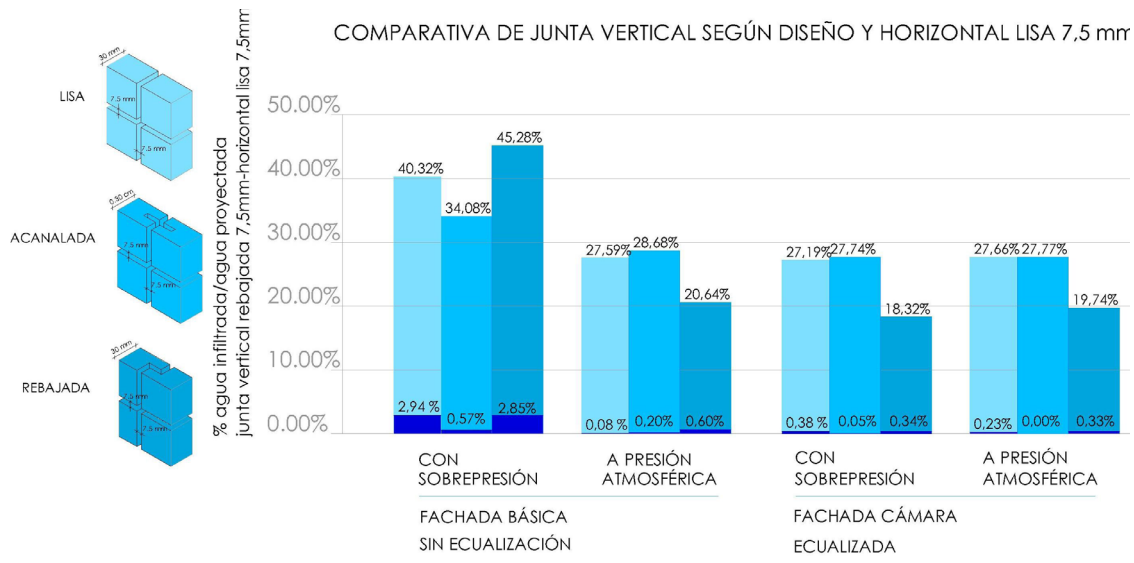


Figura 5.4.4.1 Esquema de recorrido del agua en ausencia de aire por la junta vertical acanalada y horizontal lisa, y por la junta vertical rebajada y horizontal lisa para amplitudes de 5 mm.

La infiltración de agua a través de la junta horizontal lisa, es similar en todas las combinaciones de junta estudiadas, el diseño de la junta vertical es el que marca la diferencia en lo relativo a la infiltración de agua en el supuesto de ausencia de presión de aire o cámara ecualizada.

Así pues, la propia acanaladura favorece que el agua no consiga, por tensión superficial, llegar a la cámara. Recordemos que en una junta vertical de 5 mm no se produce capilaridad, hecho que se ha verificado en los ensayos con junta únicamente vertical. Mientras, con la junta vertical rebajada se produce un menisco de agua en el canal de 4 mm, producto del rebaje de los cantos, que la canaliza haciendo que se introduzca en la cámara. El porcentaje de infiltración varía solamente en un 5 %, siendo superior en la rebajada. (Véase figura 5.4.4.1)

Para cámara sin ecualizar y a sobrepresión, al igual que con la junta de 5 mm de espesor, el diseño que permite una menor infiltración de agua en la cámara con amplitud de 7,5 mm es el de junta vertical acanalada y horizontal lisa, con un porcentaje de infiltración del 34,08%. Esto se produce de nuevo, debido al aumento de velocidad del aire, al introducirse en la junta rebajada vertical, arrastrando mayor cantidad de agua hacia la cámara, al igual que sucede con la junta lisa de 7,5 mm. La junta vertical con su canto acanalado, rompe de nuevo la velocidad en ese punto, disminuyendo la misma y llevando consigo menos cantidad de agua que con los diseños de junta vertical lisa y rebajada.



Gráfica 5.4.4.2 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según diseño de junta vertical y horizontal lisa para 7,5 mm de espesor.

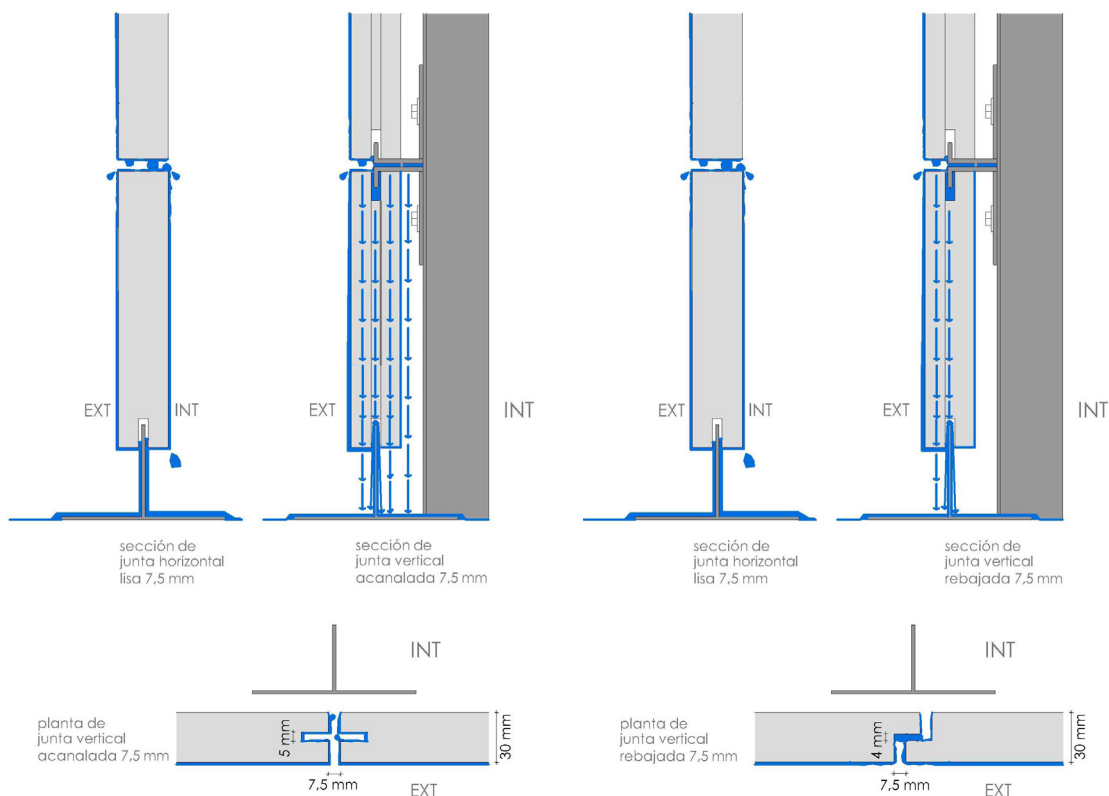
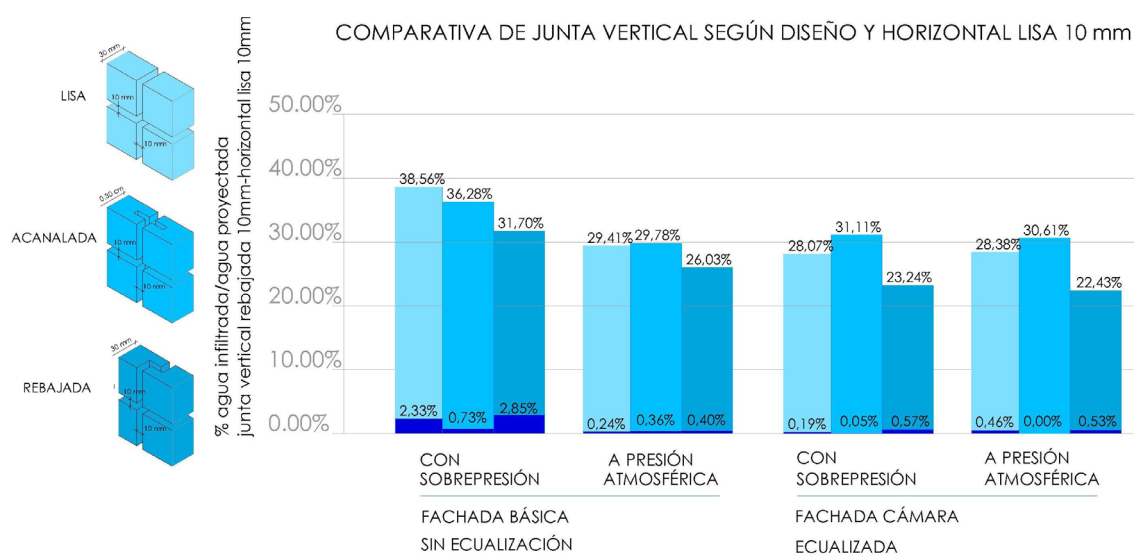


Figura 5.4.4.2 Esquema de recorrido del agua en ausencia de aire por la junta vertical acanalada y horizontal lisa, y por la junta vertical rebajada y horizontal lisa para amplitudes de 7,5 mm.

A continuación estudiaremos el caso de 7,5 mm de amplitud de junta, con la perrogativa a considerar, de que el mejor diseño en ausencia de presión de aire o cámara ecualizada es el de junta vertical rebajada combinada con la junta horizontal lisa. El motivo, se debe al propio recorrido que realiza el agua en su descenso por la junta vertical, en la junta vertical acanalada con amplitudes de junta de 7,5mm en vertical y horizontal. La uña que ancla las

piedras a la altura de la junta horizontal ya no es un obstáculo en el recorrido del agua, por lo que esta desciende en todo el canto de la junta vertical acanalada, introduciéndose por tensión superficial en la cámara de aire. Sin embargo, aunque en la junta vertical rebajada el agua empieza a discurrir de igual forma, el taponamiento que se origina en el canal de 4 mm la absorbe y canaliza por este punto, evitando que parte del agua se introduzca en la cámara. (Obsérvense los esquemas de la figura 5.4.4.2)

A su vez, con la cámara sin ecualizar y a sobrepresión, el diseño que permite una menor infiltración de agua en la cámara con amplitud de 10 mm es el de junta vertical rebajada y horizontal lisa, con un porcentaje de infiltración del 31,70 %. Varía por lo tanto en un 5 % en relación a la junta vertical acanalada, que sería el siguiente diseño más adecuado para esta situación.



Gráfica 5.4.4.3 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según diseño de junta vertical y horizontal lisa para 10 mm de espesor.

Como se ha visto en ensayos anteriores, cuando sólo existe la junta vertical acanalada, el agua que arrastra en situación de cámara sin ecualizar y sobrepresión, es inferior para todas sus amplitudes, al agua que se infiltra cuando sólo existe la junta vertical rebajada. Por lo tanto, la diferencia que encontramos ahora, donde para 10 mm el mejor diseño es la junta vertical rebajada, es debida a la influencia de la junta horizontal lisa. Se debe tener en cuenta a su vez que la junta vertical es un desagüe de la junta horizontal, en la cual su diseño influye en el recorrido del agua hacia la cámara de aire.

Recordemos, que con los aplacados dispuestos únicamente con junta vertical acanalada, el agua que provenía del exterior se arrastraba hacia el interior quedando la mayoría en la acanaladura, debido al aumento de sección y pérdida de velocidad de aire. Por lo tanto caía por gravedad en ese punto, y aunque el aire continuaba hacia la cámara, solamente conseguía arrastrar algunas gotas. Sin embargo, con la presencia de la junta horizontal, en los casos de 7,5 y 10 mm, la uña que ancla las piedras ya no es un obstáculo para que el agua discurra a través de ella hacia la junta vertical acanalada (ya que no está colocada a tope, como es en el caso de amplitudes de 5 mm) y parte del agua ha salvado la acanaladura y es empujada por el aire hacia el interior de la cámara. Con 10 mm, se introduce más cantidad

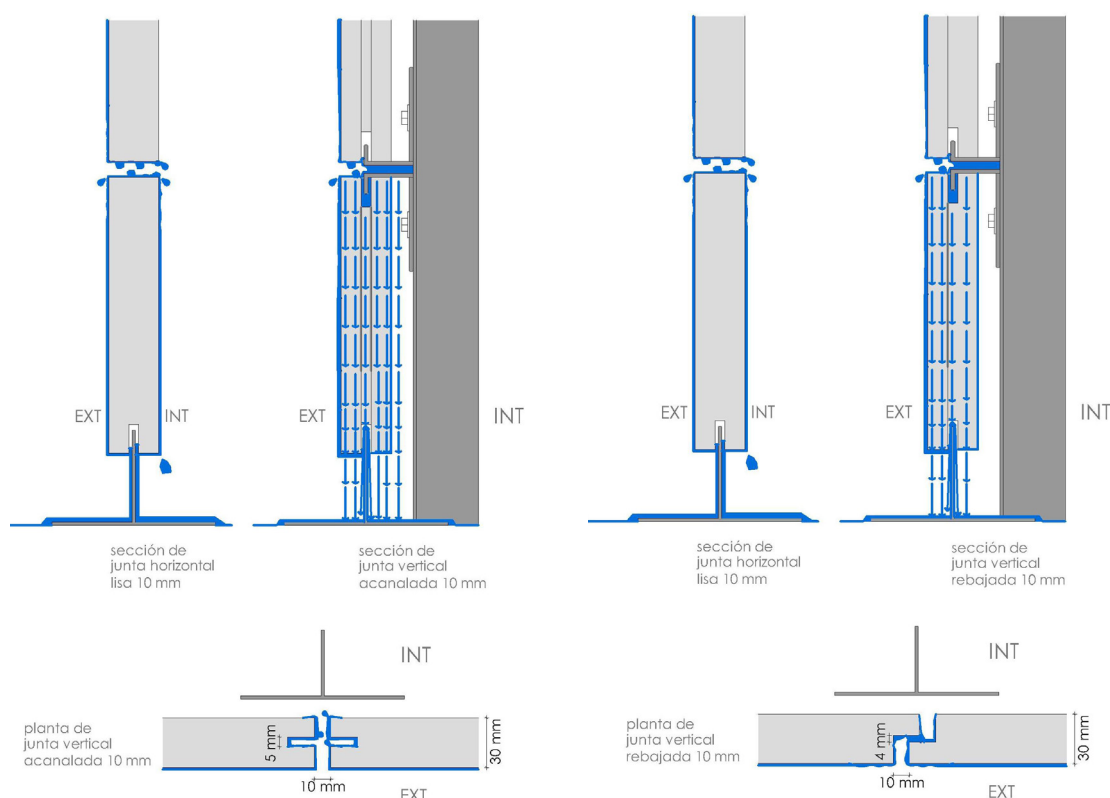


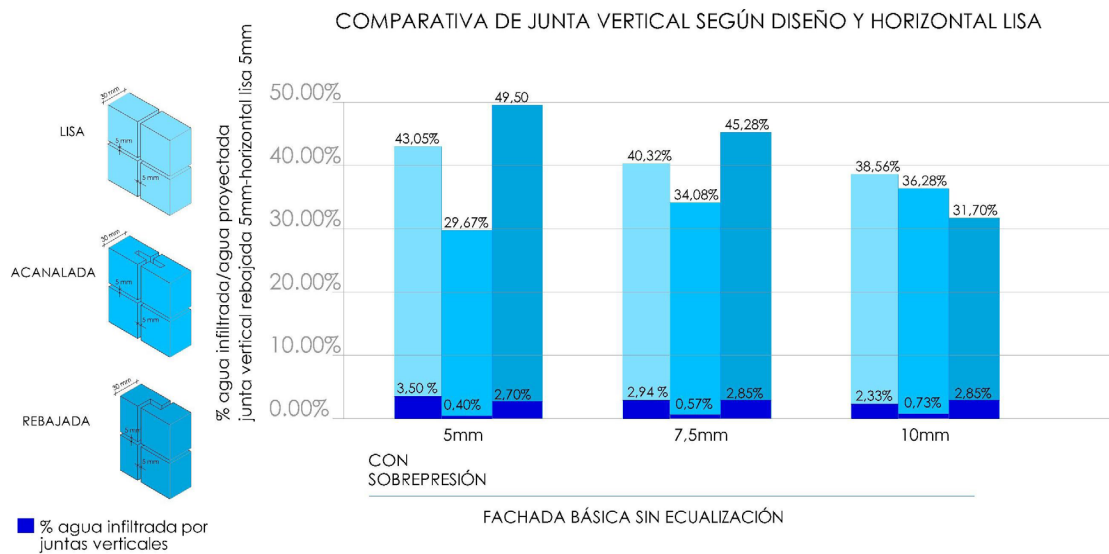
Figura 5.4.4.3 Esquema de recorrido del agua en ausencia de aire por la junta vertical acanalada y horizontal lisa, y por la junta vertical rebajada y horizontal lisa para amplitudes de 10 mm.

de agua por la junta vertical. Recordemos que la separación entre el exterior e interior de la cámara se produce en el eje central del aplacado mediante el perfil en T invertido, ubicado en la base del prototipo de fachada ventilada.

De igual manera, con la junta vertical rebajada, se obtenían resultados de infiltración de agua iguales, para cualquiera de sus amplitudes, debido al estrechamiento que se producía en la zona de los rebajes de los cantos, resultando un canal de 4 mm de espesor, por el cual la velocidad del aire se igualaba arrastrando cantidades iguales de agua hacia el interior, de un 2,85 %. Sin embargo, cuando la combinamos con la junta horizontal lisa en amplitudes de 5 mm, la velocidad del aire y la succión del agua hacia la cámara, es mayor que con amplitudes de junta de 7,5 mm y 10 mm, a través de las cuales la velocidad disminuye. El agua que se infiltra a través de la junta horizontal de 10 mm, no encuentra obstáculos para discurrir por la junta vertical rebajada, aunque al llegar a esta se canaliza por el conducto de 4 mm.

Para la amplitud de junta de 10 mm en condiciones de ausencia de presión de aire o anulación de la misma, debido a la ecualización de la cámara, el mejor diseño vuelve a ser también el de junta vertical rebajada con junta horizontal lisa, con un porcentaje de infiltración del 24 %. Esto es debido, al mismo motivo explicado en el caso de amplitud de junta de 7,5 mm, aunque aquí la diferencia de porcentaje de infiltración únicamente es de un 3 %. Esto se puede observar en los esquemas de la figura 5.4.4.3.

Dado que la situación más habitual de este tipo de cerramientos, se da con cámara sin ecualizar y sobrepresión, se comparan a continuación los distintos diseños de junta y la



Gráfica 5.4.4.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según diseño de junta vertical y horizontal lisa para 5, 7,5 y 10 mm de espesor con cámara sin ecualizar y sobrepresión.

amplitud de la misma, para analizar su comportamiento ante la infiltración de agua y poder así concluir, qué diseño es el más favorable para alcanzar los objetivos planteados.

Para la situación más habitual, de fachada sin ecualizar y sobrepresión, se observa que la menor infiltración se produce con la junta vertical acanalada y horizontal lisa, con un porcentaje de infiltración del 29,7 %. Curiosamente la mayor infiltración también se produce para un espesor de junta de 5 mm con la junta vertical rebajada y horizontal lisa.

La junta vertical rebajada y horizontal lisa de 10 mm es el siguiente mejor diseño para un menor infiltración. El motivo se ha explicado anteriormente dentro de este apartado.

En las juntas acanaladas, la infiltración de agua es proporcional a la amplitud de las mismas, debido a que el agua se infiltra por la junta horizontal y a que la junta vertical acanalada produce un efecto de pérdida de velocidad del aire al pasar por ella, que origina que el agua, caiga por gravedad en la zona de las acanaladuras. Sin embargo, en la junta lisa y rebajada la infiltración es inversamente proporcional a la amplitud de las mismas, debido al mismo motivo, ya que la junta vertical colabora en el computo de la superficie de exfiltración de aire, arrastrando el agua en mayor cantidad en las juntas de menor espesor.

Con el cruce de datos y tras un exhaustivo análisis se concluye, que el mejor diseño de la junta vertical para una fachada ventilada combinada con junta horizontal lisa, es en general el de junta vertical acanalada. Siendo la menor infiltración de agua para sus amplitudes de 5 y 7,5 mm, y siendo sin embargo para amplitud de junta de 10 mm el mejor diseño la junta vertical rebajada, aunque solamente con un valor del orden de un 5 % superior a la junta vertical acanalada.

5.5. ENSAYO MEJORADO DE JUNTA VERTICAL Y HORIZONTAL: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA

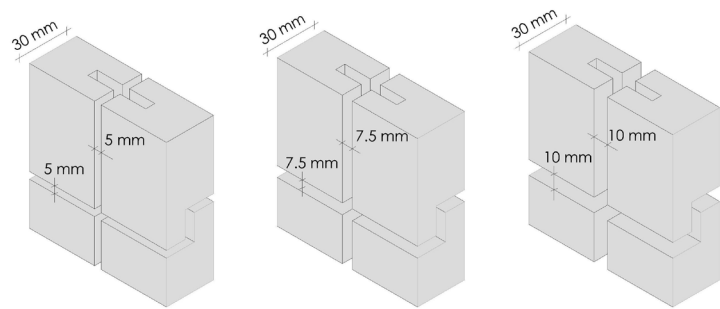


Figura 5.5.1 Esquema de junta vertical acanalada y horizontal rebajada para las amplitudes de 5, 7.5 y 10 mm.

Al finalizar los 72 tipos de ensayos planteados, surge el interés por realizar un último estudio que comprenda el diseño de junta vertical más favorable, combinado con la junta horizontal más favorable (dato facilitado por D. Felipe Bescansa en la otra parte de esta investigación). Se investiga, de este modo, la junta vertical acanalada con la junta horizontal rebajada para verificar si la infiltración de agua a través de las juntas es inferior a la obtenida hasta el momento.

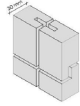
JUNTA VERTICAL ACANALADA Y JUNTA HORIZONTAL REBAJADA	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN			FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	espesor de junta (mm)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
	5	ensayo tipo 73	ensayo tipo 74	ensayo tipo 75	ensayo tipo 76
	7,5	ensayo tipo 77	ensayo tipo 78	ensayo tipo 79	ensayo tipo 80
	10	ensayo tipo 81	ensayo tipo 82	ensayo tipo 83	ensayo tipo 84



Figura 5.5.2 Vista de la colocación de los aplacados con junta vertical acanalada y horizontal rebajada.



Figura 5.5.3 Vista desde el exterior del canto horizontal rebajado en el aplacado inferior.

Se cortan de nuevo las piedras para adaptar la junta horizontal lisa a una junta horizontal rebajada. Y se inicia de nuevo el procedimiento de ensayo.

a. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 5 mm.



Figura 5.5.5 Vista de la junta vertical acanalada de 5mm.



Figura 5.5.6 Vista de la comprobación del espesor de la junta vertical acanalada con el calibre.

Se colocan los aplacados en el dispositivo y se ajusta la amplitud de la junta a 5 mm en ambos sentidos, vertical y horizontal.

ENSAYO TIPO 73: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA DE 5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN.
Duración: 24 minutos

En este caso, se observa como a través de la junta horizontal no se infiltra agua, mientras que por la junta vertical se desagua la procedente de esta. Se comprueba a su vez que detrás del perfil en T, que oculta la junta vertical, se produce un goteo continuo de agua.

Si observamos la junta horizontal por la zona de proyección de agua podemos comprobar que se ha formado un taponamiento.

Transcurridos 4,33 minutos, entra un escalón de presión de aire y el agua es proyectada por la junta vertical hacia el interior de la cámara encontrándose la subestructura de la fachada como obstáculo para alcanzar la hoja interior de la misma. Esto se puede comprobar



Figura 5.5.7 Esquema del tapón de agua en junta horizontal rebajada de 5 mm.

gracias a la existencia de unos orificios en el perfil indicado (origen de eliminar la tornillería existente en ellos) y observando a su vez como por los mismos se proyecta agua desde el exterior. Aunque no consigue alcanzar el vidrio que corresponde a la capa interior de la cámara.



Figura 5.5.8 Vista desde el interior de la cámara de la subestructura que oculta la junta vertical.



Figura 5.5.9 Vista desde el interior de la cámara de la infiltración de agua por la junta vertical.



Figura 5.5.10 Vista desde el interior de la cámara del ensayo de junta vertical acanalada y horizontal rebajada para amplitud de 5 mm en situación de cámara sin equalizar y sobrepresión.

Transcurridos 6 minutos, continúa sin infiltrarse agua por la junta horizontal aunque se observa, debido a la proyección de agua por la junta vertical, que penetra mojando la piedra en sentido diagonal, a unos 45 grados hacia abajo desde la junta vertical.

A los 10 minutos de iniciado el ensayo, continúa sin infiltrarse agua por la junta horizontal e igualmente a los 18 minutos, que solo se infiltra a través de la junta vertical que actúa a su vez de drenaje de la junta horizontal.

Se observa igualmente como el perímetro de la junta horizontal, está humedecido en uno o dos centímetros, aunque no se aprecia discurrir el agua por la superficie interior de las piedras.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 15,96 litros.

ENSAYO TIPO 74: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA DE 5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Se observa desde el inicio de los ensayos, que el agua se infiltra a través de la junta vertical acanalada que actúa como desagüe de la junta horizontal. Aunque la junta horizontal directamente no infiltra agua, se humedece la superficie de la piedra en los bordes de la misma. A su vez la humedad aumenta respecto al ensayo anterior debido a la capilaridad.

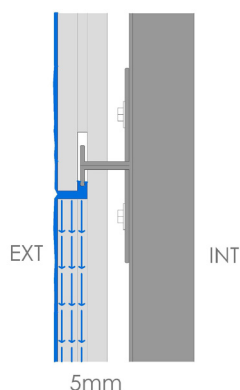


Figura 5.5.11 Esquema del tapón de agua en junta horizontal rebajada de 5 mm.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 4,66 litros.

ENSAYO TIPO 75: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 5 mm. FACHADA ECUALIZADA. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos.

Al igual que en los ensayos anteriores, se observa cómo el agua se infiltra a través de la junta vertical debido al agua que rebosa desde la junta horizontal por ella.

La condensación hace a su vez que se humedezcan las piedras en su totalidad, aunque no se infiltre agua por la junta horizontal directamente.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 11,26 litros.

ENSAYO TIPO 76: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA DE 5 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

Se repite de nuevo la situación anterior, todas las piedras están completamente húmedas, aunque en este caso el agua no se infiltra a través de la junta horizontal. Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 4,86 litros.



Figura 5.5.12 Vista desde el interior de la cámara del ensayo de junta vertical acanalada y horizontal rebajada para amplitud de 5 mm en situación de cámara ecualizada y presión atmosférica.

b. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 5 mm.

Se recogen a continuación, en la siguiente tabla, los resultados de los ensayos realizados para la junta vertical acanalada y horizontal rebajada con espesores de junta de 5 mm.

Como se puede observar, la menor infiltración de agua en la cámara se produce en la situación de cámara ecualizada, con sobrepresión o presión atmosférica, y cámara sin ecualizar a presión atmosférica, siendo del orden del 9 % en relación al agua proyectada.

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA 5mm

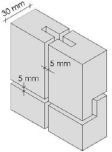
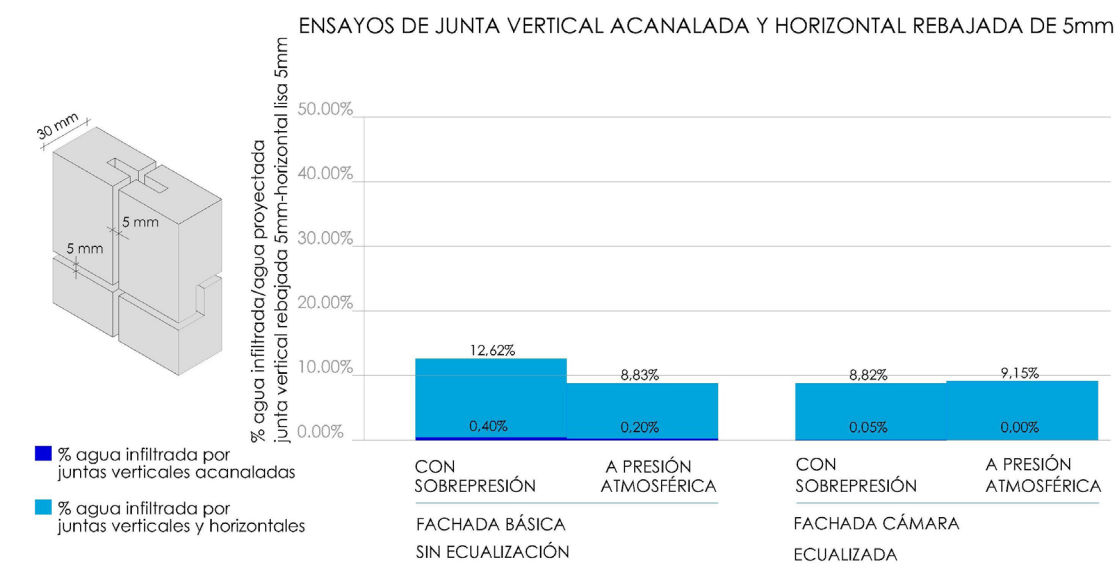
	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,27	5,28	5,32	5,35
AGUA INFILTRADA (litros)	15,96	4,66	11,26	4,86
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	12,62%	8,83%	8,82%	9,15%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	0,67	0,46	0,47	0,49
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	450	—	600	—

Tabla 5.5.1 Resultados de ensayos tipo 73 a 76 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 5 mm de espesor.

Igualmente a otros ensayos realizados, la mayor infiltración de agua de 12,62 %, se produce en situaciones de cámara sin ecualizar y sobrepresión, que corresponde a la realidad constructiva de este tipo de cerramientos.

La diferencia entre las distintas situaciones de grado de confinamiento de la cámara y acciones a las que sometemos al prototipo, sólo varía en un 4 %, por lo tanto, la situación más desfavorable con estos diseños de junta, no alcanza valores de infiltración muy altos.

La incidencia de la junta vertical en el diseño del cerramiento con juntas verticales y horizontales radica en el funcionamiento como desagüe de la junta horizontal, ya que como observamos en la gráfica anterior la infiltración de agua a través de la junta vertical, cuando solo existe esta, es de 0,40 % y prácticamente nula en las situaciones más favorables de cámara ecualizada o ausencia de presión de aire.



Gráfica 5.5.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 73 a 76 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 5 mm de espesor.

Durante la observación de los ensayos, se constató que a través de la junta horizontal rebajada, no se infiltraba agua en la cámara sino que la misma penetraba a través de la junta vertical llegando a valores máximos de 12,62 %.

c. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 7,5 mm.

Una vez modificada la amplitud de la junta a 7,5 mm se realizan los ensayos del tipo 77 al tipo 80 que se describen a continuación.

ENSAYO TIPO 77: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA DE 7,5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN.
Duración: 24 minutos

Este ensayo se realiza poco después de ensayar la junta horizontal rebajada y vertical acanalada de 7,5 mm para cámara ecualizada, por lo que nos encontramos con la junta horizontal húmeda en su parte inferior. Durante el transcurso del ensayo la franja superior de la junta horizontal también se humedece.



Figura 5.5.13 Vista desde el interior de la cámara del ensayo de junta vertical acanalada y horizontal rebajada para amplitud de 7,5 mm en situación de cámara sin ecualizar y sobrepresión.

A los 14 minutos del inicio de este ensayo se observa la presencia de agua en el rebaje de la junta horizontal, tal y como se muestra en la figura 5.5.14. Agua que asciende por



Figura 5.5.14 Esquema de cómo se introduce el agua en la junta horizontal rebajada de 7,5 mm.

capilaridad hacia el interior de la cámara, aunque no llega a desbordar de los cantos de la junta.

A los 18 minutos, se inicia otro escalón de presión de aire sin que el agua que se infiltra y asciende por el rebaje de la junta horizontal llegue a desbordar por las piedras hacia el interior de la cámara.

Al finalizar el ensayo se infiltran en la cámara 12,62 litros de agua.

ENSAYO TIPO 78: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA DE 7,5 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

En este ensayo desaparece la acción del aire, de forma que el agua ya no se adhiere al rebaje de la junta horizontal, únicamente se genera una humedad en su borde como en los casos anteriores.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 4,50 litros.

ENSAYO TIPO 79: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 7,5 mm. FACHADA ECUALIZADA. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

Si observamos la junta horizontal por la zona de proyección de agua, que simula una precipitación, observamos que en la junta horizontal no se genera ningún menisco. Se aprecian únicamente burbujas de agua que oscilan entre los cantos de la piedra que conforma la junta de 7,5 mm.

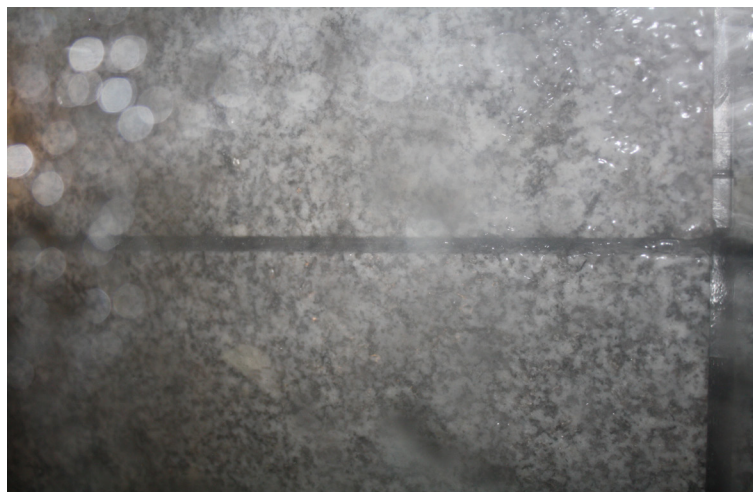


Figura 5.5.15 Vista desde la zona de proyección de agua del ensayo de junta vertical acanalada y horizontal rebajada para amplitud de 7,5 mm en situación de cámara ecualizada y sobrepresión.

Transcurridos 8 minutos desde el inicio del ensayo, las piedras en el interior de la cámara se encuentra totalmente secas, no apreciándose humedad alguna.



Figura 5.5.16 Esquema del movimiento del agua en la junta horizontal rebajada de 7,5 mm sin acción del aire.



Figura 5.5.17 Vista desde el interior de la cámara de la junta horizontal rebajada para amplitud de 7,5 mm en situación de cámara ecualizada y sobrepresión.

Sin embargo, a los 15 minutos del inicio del ensayo, se observa humedecida la junta horizontal en una franja de 2 cm en su aplacado inferior, que a los 5 minutos se amplía a 3 cm.



Figura 5.5.18 Vista desde el interior de la cámara de la humedad que se origina en torno a la junta horizontal rebajada para amplitud de 7,5 mm.

El agua que se infiltra en la cámara procede del que desagua por la junta vertical, a su vez procedente de la junta horizontal. Al finalizar el ensayo obtenemos una infiltración de agua de 10,92 litros.

ENSAYO TIPO 80: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA DE 7,5 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos.

En este ensayo únicamente se aprecia cómo la humedad que rodea la junta horizontal aumenta a 4 cm y cómo el agua se infiltra a través de la junta vertical que recoge y canaliza el agua que se mueve por la junta horizontal.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 4,50 litros.

d. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 7,5 mm

Se recopilan en la siguiente tabla los resultados obtenidos de los ensayos realizados para el diseño de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 7,5 mm.

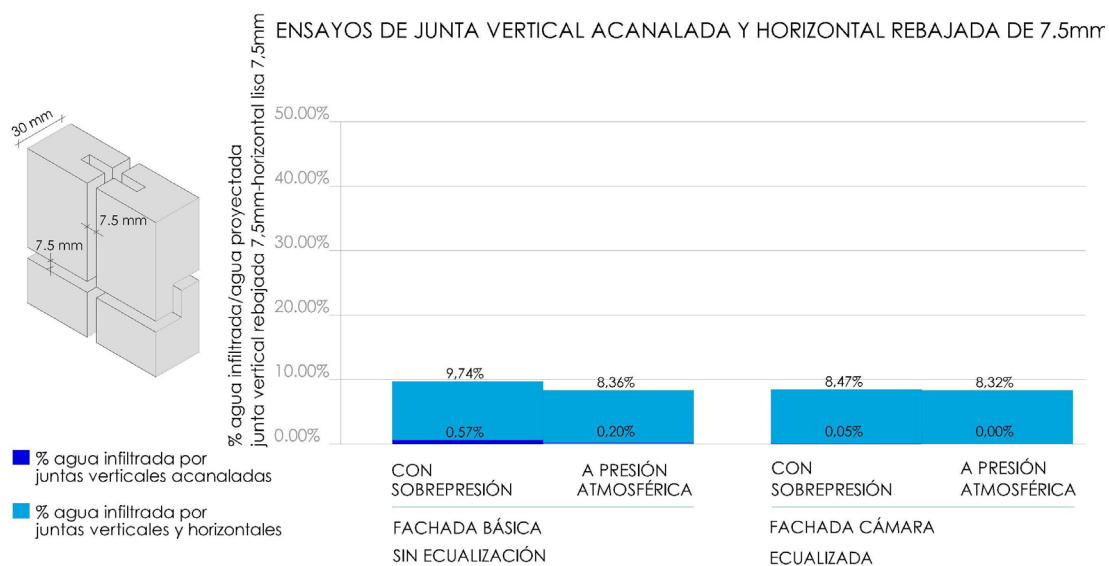
RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA 7,5mm

	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,40	5,38	5,37	5,41
AGUA INFILTRADA (litros)	12,62	4,50	10,92	4,50
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	9,74%	8,36%	8,47%	8,32%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	0,53	0,45	0,46	0,45
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	450	—	600	—

Tabla 5.5.2 Resultados de ensayos tipo 77 a 80 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 7,5 mm de espesor.

La menor infiltración de agua en la cámara es del 8,32 % en relación al agua proyectada y se produce indistintamente en situación de ausencia de presión de aire, indiferentemente del grado de confinamiento de la cámara, y en situación de cámara ecualizada con sobrepresión.

La mayor infiltración de agua es de 9,74 % y se produce en situación de cámara sin ecualizar y sobrepresión, que a su vez concuerda con la realidad constructiva de este tipo de cerramientos. La diferencia con el resto de situaciones es inferior al 2 %, por lo que nos encontramos ante el diseño de juntas y amplitud de las mismas, en el que prácticamente es indistinto el grado de confinamiento de la cámara y la acción del viento.



Gráfica 5.6.2. Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 77 a 80 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 7,5 mm de espesor.

e. Observaciones durante la realización de los ensayos. Junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 10 mm

Se modifica la amplitud de las juntas a 10 mm para continuar con los ensayos del tipo 81 al 84.



Figura 5.5.20 Vista de la junta horizontal rebajada de 10 mm.

Figura 5.5.19 Vista de la junta vertical acanalada de 10 mm.

ENSAYO TIPO 81: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA DE 10 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. CON SOBREPRESIÓN.
Duración: 24 minutos

A los 50 segundos del comienzo del ensayo ya se aprecia la acumulación de agua en la junta horizontal rebajada y cómo asciende por capilaridad por la pared intermedia de dicho rebaje. Véase esquema de la figura 5.5.22 para una mejor comprensión.



Figura 5.5.21 Vista de la humedad en el rebaje interior de la junta horizontal rebajada de 10 mm.



Figura 5.5.22 Esquema del movimiento del agua en la junta horizontal rebajada de 10 mm.

Sin embargo el agua no se infiltra hacia la cámara por la junta horizontal y a los 4 minutos de inicio del ensayo, los bordes interiores de la misma permanecen secos.

Como se puede apreciar en la foto de la figura 5.5.23, el agua se está infiltrando a través de la junta vertical acanalada, por detrás del perfil en T vemos como aparece un pequeño charco de agua producto del desagüe de la junta horizontal rebajada.



Figura 5.5.23 Vista del agua infiltrada por la junta vertical acanalada que se acumula en la cámara de aire.

Transcurridos 11 minutos desde el inicio de este ensayo, se observa cómo la franja en continuidad con la junta horizontal está humedecida en las piedras inferiores. Al igual que observamos, que debido a la presión de aire el agua entra en diagonal por las juntas verticales mojando las piedras.



Figura 5.5.24 Vista del ensayo de junta horizontal rebajada y vertical acanalada de 10 mm.

A los 13 minutos, la humedad en las piedras se extiende por la zona de apoyo de las inferiores. Al finalizar el ensayo obtenemos una infiltración de agua de 11,48 litros.

ENSAYO TIPO 82: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA DE 10 mm. FACHADA BÁSICA, SIN ECUALIZACIÓN. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

La única infiltración de agua se produce por la junta vertical acanalada, ya que esta le facilita el desagüe verticalmente a la junta horizontal rebajada.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 4,32 litros.

ENSAYO TIPO 83: JUNTA VERTICAL REBAJADA Y HORIZONTAL LISA DE 10 mm. FACHADA ECUALIZADA. CON SOBREPRESIÓN. Duración: 24 minutos

En las situaciones de cámara ecualizada con sobrepresión el agua se infiltra a través de la junta vertical, como hemos observado en ensayos anteriores en las mismas condiciones.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 10,36 litros.

ENSAYO TIPO 84: JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA DE 10 mm. FACHADA ECUALIZADA. PRESIÓN ATMOSFÉRICA. Duración: 10 minutos

El agua se infiltra a través de la junta vertical acanalada, al igual que en el ensayo precedente.

Al finalizar el ensayo se obtiene una infiltración de agua de 4,42 litros.

f. Resultados e interpretación. Junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 10 mm

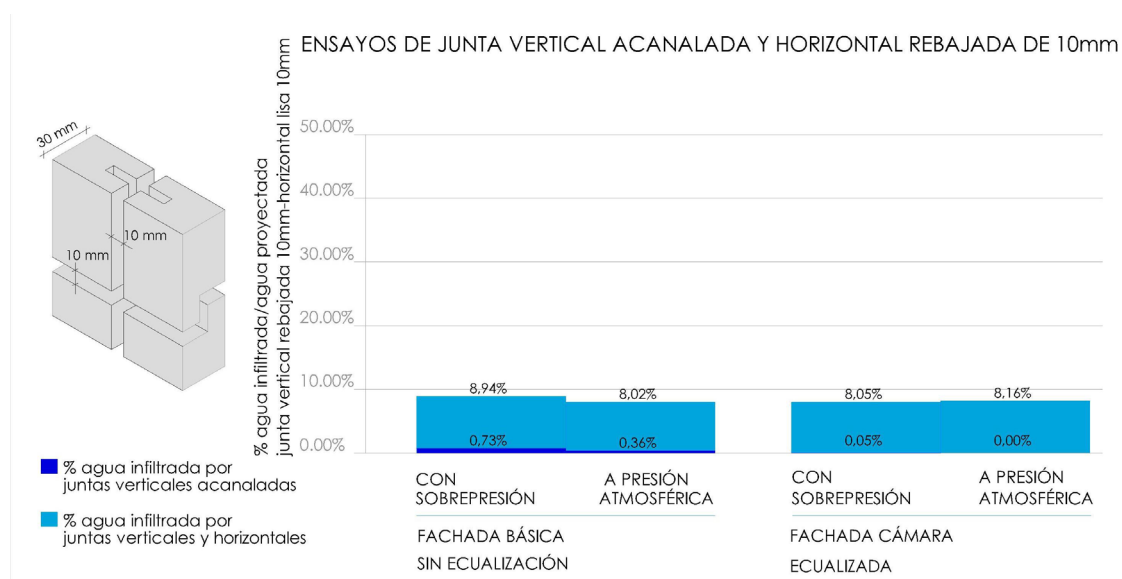
Se recogen a continuación, los resultados obtenidos para las juntas verticales acanaladas y horizontales rebajadas de 10 mm.

RESULTADOS DE ENSAYOS DE JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA 10mm

	FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	5,35	5,36	5,36	5,39
AGUA INFILTRADA (litros)	11,48	4,32	10,36	4,42
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	8,94%	8,02%	8,05%	8,16%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	0,49	0,43	0,43	0,44
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	450	—	600	—

Tabla 5.5.3 Resultados de ensayos tipo 81 a 84 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 10 mm de espesor.

En el caso de amplitudes de junta de 10 mm, observamos que la infiltración de agua en la cámara es prácticamente la misma en las cuatro situaciones estudiadas. La menor infiltración de 8,02 %, se produce en cámara sin ecualizar a presión atmosférica, valor similar al obtenido con la cámara ecualizada en ambas situaciones de presión de aire. La máxima infiltración de agua es del 8,94 %, en relación al agua proyectada, y se produce con la cámara sin ecualizar con sobrepresión.



Gráfica 5.5.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 81 a 84 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 10 mm de espesor.

Como observamos en la gráfica la diferencia de infiltración de agua en las cuatro situaciones es del 1%, ello es debido a la amplitud de la junta horizontal rebajada a través de la cual la velocidad disminuye considerablemente respecto a las amplitudes de 7,5 y 5 mm.

5.5.1 COMPARATIVA E INTERPRETACIÓN SEGÚN EL ESPESOR DE LA JUNTA VERTICAL ACANALADA Y HORIZONTAL REBAJADA

A continuación se comparan los resultados en relación a la amplitud de la junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

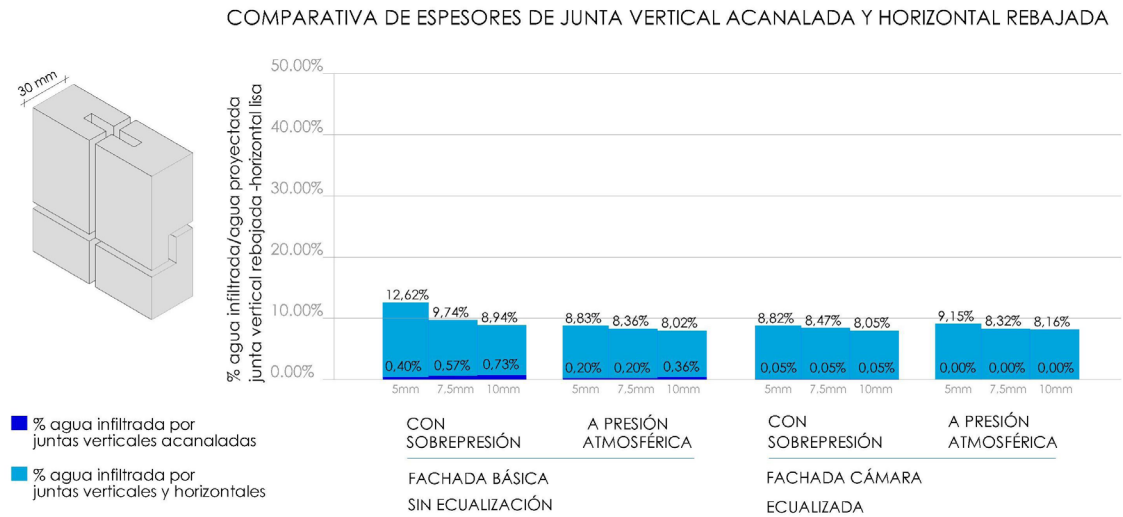


		FACHADA BÁSICA VENTILADA-SIN ECUALIZACIÓN		FACHADA CÁMARA ECUALIZADA	
		ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)	ENSAYO CON SOBREPRESIÓN (24min)	ENSAYO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA (10min)
CAUDAL DE AGUA PROYECTADA (litros/min)	espesor de junta en mm				
	5	5,27	5,28	5,32	5,35
	7,5	5,40	5,38	5,37	5,41
AGUA INFILTRADA (litros)	5	15,96	4,66	11,26	4,86
	7,5	12,62	4,50	10,92	4,50
	10	11,48	4,32	10,36	4,42
AGUA INFILTRADA / AGUA PROYECTADA	5	12,62%	8,83%	8,82%	9,15%
	7,5	9,74%	8,36%	8,47%	8,32%
	10	8,94%	8,02%	8,05%	8,16%
CAUDAL DE INFILTRACIÓN (litros/min)	5	0,67	0,46	0,47	0,49
	7,5	0,53	0,45	0,46	0,45
	10	0,49	0,43	0,43	0,44
PRESIÓN ALCANZADA (Pa)	5	450	—	600	—
	7,5	450	—	600	—
	10	440	—	600	—

Tabla 5.5.4 Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 5, 7.5, 10 mm de espesor.

Como se puede observar, la menor infiltración de agua se produce siempre con la cámara ecualizada, en ambas situaciones de presión atmosférica y sobrepresión, y con la cámara sin ecualizar a presión atmosférica, con porcentajes de infiltración entre el 8 y 9% indistintamente de la amplitud de la junta.

Observamos a su vez que para la amplitud de 10 mm con la cámara sin ecualizar y a sobrepresión, circunstancia más habitual en la utilización de este sistema constructivo, la infiltración de agua solamente se incrementa en un 1%, obteniéndose un valor del 8,94 % de infiltración de agua en la cámara en relación al agua proyectada. Por lo tanto la infiltración es inversamente proporcional a la amplitud de la junta, obteniendo una infiltración de 12,62 % para 5 mm, superior en aproximadamente un 4 % a las situaciones más favorables. Esto es debido a que la velocidad del aire aumenta, al disminuir la sección, provocando que se arrastre mayor cantidad de agua al pasar por la junta horizontal rebajada.



Gráfica 5.5.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

El agua que se infiltra cuando únicamente hay juntas verticales acanaladas, no supera el 1 %, dato que aumenta en su combinación con la junta horizontal rebajada, aunque en un porcentaje muy inferior a lo que sucedía en su combinación con la junta horizontal lisa.

Se analiza a continuación, qué fuerzas han intervenido en la infiltración del agua a través de la junta vertical acanalada y horizontal rebajada, para explicar así el motivo de los porcentajes de infiltración de agua obtenidos en la cámara ventilada.

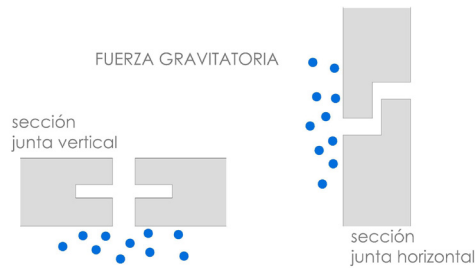


Figura 5.5.25 Esquema de la fuerza gravitatoria en junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

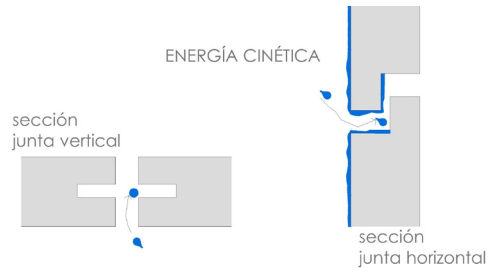


Figura 5.6.26 Esquema de la energía cinética en junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

La fuerza gravitatoria, como ya se ha comentado en el análisis de otras combinaciones de junta, colabora en la infiltración de agua en la cámara una vez que han actuado las otras fuerzas que introducen el agua y esta cae por su propio peso. La energía cinética actúa a su vez en presencia de la acción del viento.

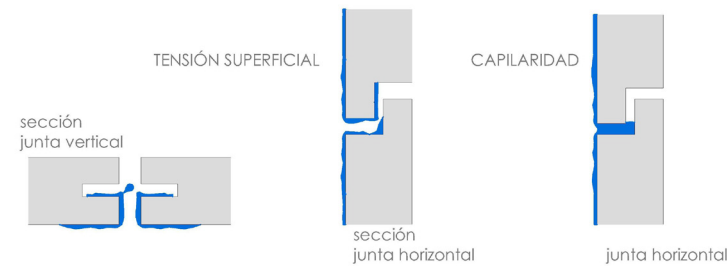


Figura 5.5.27 Esquema de la tensión superficial y la capilaridad en junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

Igualmente, la tensión superficial actúa siempre de manera que un pequeño porcentaje de agua llega a penetrar en la cámara en la junta vertical acanalada, sin embargo en la junta horizontal rebajada el agua no consigue alcanzar la misma. Como se ha comentado en la observación de los ensayos, no se produce ningún menisco de agua en la junta vertical acanalada, ni tan siquiera en amplitudes de 5 mm. Sin embargo en la junta horizontal rebajada sí actúa la tensión superficial para 5 mm de amplitud de junta, aunque únicamente por la cara expuesta a la proyección de agua.

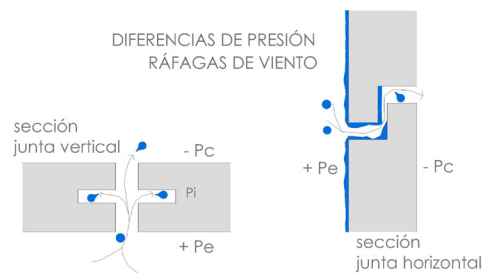
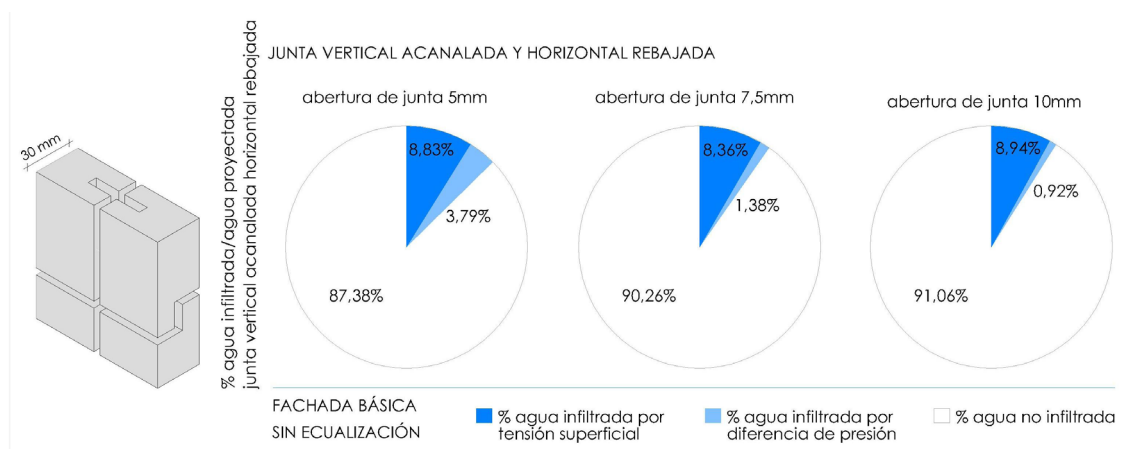


Figura 5.5.28 Esquemas de la diferencia de presión y ráfagas de viento en junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

Las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión, se pueden asimilar una a la otra, ya que son las fuerzas que producen mayor entrada de agua, pues ambas se convierten en masas de aire que al infiltrarse por la junta arrastran gotas de agua al interior de la cámara. Sin embargo las fuerzas originadas por ráfagas de viento y diferencia de presión se anulan cuando la cámara está ecualizada.



Gráfica 5.5.5 Porcentaje de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión en relación al agua proyectada para una fachada sin ecualizar con junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

Para este diseño de junta vertical acanalada y horizontal lisa se ha comprobado que se minimiza de forma considerable el agua introducida, debido a las diferencias de presión o ráfagas de aire. Los porcentajes de infiltración en presencia de los mismos así lo reflejan. El motivo se ha explicado ya en el caso de la junta vertical acanalada, se produce un incremento de sección en el eje central de la junta que provoca una disminución de la velocidad del aire, y la caída en vertical de gran parte de las gotas de agua en ese punto. En relación a la junta horizontal rebajada se ha observado en los ensayos a sobrepresión con cámara sin ecualizar que el agua en ningún momento rebosa por la junta horizontal rebajada. Esto a su vez es debido a la presencia de la junta vertical que actúa como drenaje sin permitir que el agua que

se acumula en la misma llegue a alcanzar la cota superior de la pestaña que forma el rebaje (ver figura 5.6.28).

Cabe señalar que la infiltración de agua en presencia de aire, es inversamente proporcional a la amplitud de la misma. Con el espesor de junta horizontal rebajada de 5 mm se produce un canal que absorbe el agua que discurre por la fachada, el cual con la acción del viento se mueve a mayor velocidad, arrastrando más cantidad de agua hacia la junta vertical acanalada por la que drena.

6. CONCLUSIONES

Como se ha indicado al inicio de la investigación, en la actualidad no existen estudios que ofrezcan datos reales acerca de la cantidad de agua que se infiltra por las juntas verticales de una fachada ventilada. Así mismo, se desconoce la incidencia de la junta vertical en la proporción de agua que se infiltra en la cámara, cuando la fachada ventilada está conformada por aplacados con despieces que requieren junta vertical y horizontal.

En estas condiciones, se ha realizado un estudio con datos objetivos, que permite conocer las cantidades exactas de agua que se infiltra en la cámara de una fachada ventilada de 1m², según el diseño de la junta vertical y sus distintas amplitudes.

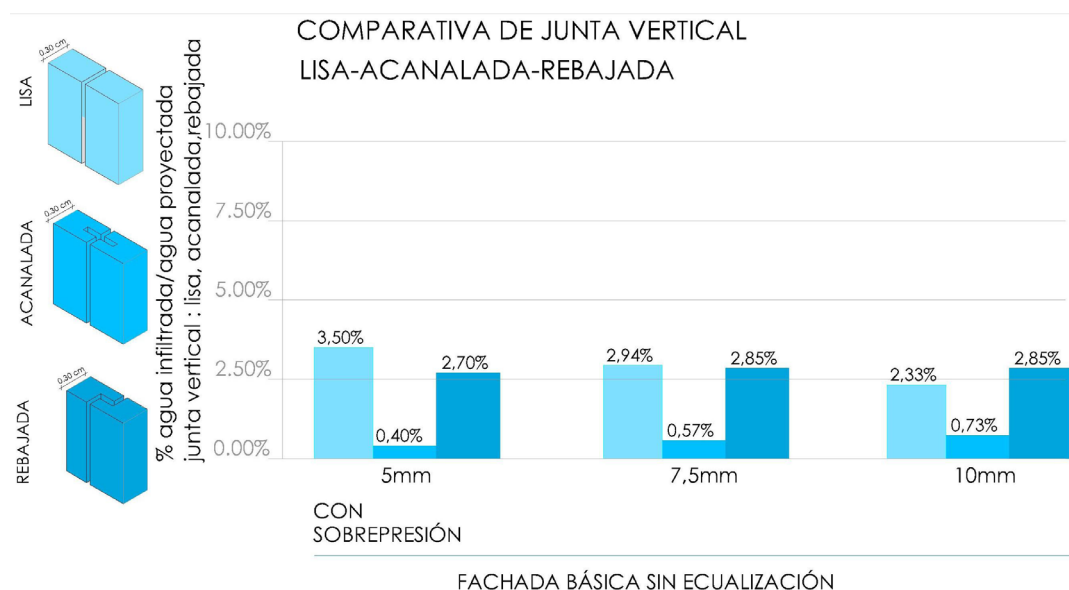
Con estos antecedentes, se planteaban al inicio de este estudio varios objetivos a alcanzar, que pasamos a enumerar a continuación.

En cuanto al **primer objetivo**; para determinar si el diseño de junta vertical o amplitud de la misma, incide en la cantidad de agua que se infiltra en la cámara de aire de una fachada ventilada, se ha realizado un prototipo de fachada ventilada con junta vertical, que ha permitido regular el grado de confinamiento de la cámara de aire así como la modificación de la amplitud de las juntas verticales. Se ha sometido a su vez a las acciones de lluvia con presión de aire, y de lluvia en ausencia de aire, en el banco de ensayos de A-E-V del laboratorio de hidráulica del CITEEC en la Universidad de A Coruña, ambas para distintos confinamientos de cámara y distintas amplitudes de junta.

Una vez realizados los 36 ensayos, suma de los distintos diseños de junta y de las distintas situaciones a las que se ha sometido el prototipo de fachada ventilada (fachada básica ventilada sin ecualizar y fachada con cámara ecualizada, ambas con sobrepresión y presión atmosférica), se han analizado los resultados obtenidos y contrastado entre ellos, pudiendo así establecer el diseño y espesor de junta vertical más idóneo para una menor infiltración de agua en la cámara.

De esta forma, la menor infiltración de agua se produce siempre con la cámara ecualizada, tanto a sobrepresión como a presión atmosférica, y con la cámara sin ecualizar a presión atmosférica. Los valores de infiltración obtenidos en estas tres situaciones, indistintamente del diseño de junta vertical, son inferiores al 0,30 % de infiltración de agua en la cámara, en relación al agua proyectada, cuando la amplitud de la junta es de 5 mm, y a 0,60 % en las amplitudes de junta de 7,5 y 10 mm. De este modo, el menor valor de infiltración de agua se obtiene a través de la junta vertical acanalada, independiente de la amplitud de la misma, llegando a valores máximos de 0,36% para la amplitud de 10 mm.

Considerando que la construcción más habitual de fachada ventilada en España se realiza con cámara sin ecualizar y con sobrepresión de aire, situación en la que se obtiene



Gráfica 6.1 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según diseño de junta vertical.

mayor infiltración de agua, se analizan a continuación y amplían, más detalladamente, según estas condiciones, los distintos diseños de la junta vertical.

Así pues, el diseño que ofrece una menor infiltración de agua en la cámara es la junta vertical acanalada, sin ser significativa la amplitud de la misma. Para un espesor de junta acanalada de 5 mm se obtiene la menor infiltración de agua, del orden 0,40 % en relación al agua proyectada, que aumenta a 0,57 % para un espesor de junta de 7,5 mm y 0,73 % para 10 mm. Se observa a su vez que la diferencia entre espesores no supera el 0,33 % , valor que se considera despreciable por su poca entidad. La similitud de los valores, se debe al aumento de sección que se produce en el eje intermedio de la junta, debido a la acanaladura, provocando que disminuya la velocidad del aire y que el agua que arrastra descienda por gravedad en su mayor cantidad en ese punto. La explicación se encuentra en la ecuación de continuidad, que se ha explicado en el apartado 5.3.1.1.

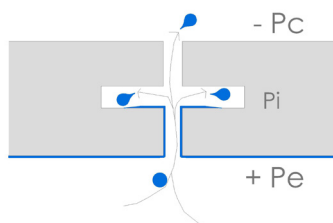


Figura 6.1 Esquema del agua que desciende por gravedad, en la acanaladura del canto de la junta vertical, debido a la pérdida de velocidad del aire que la arrastra al interior de la cámara.

El siguiente diseño más recomendado, es el de junta vertical lisa de 10 mm de amplitud, en el cual se produce una infiltración de agua de 2,33 % en relación al agua proyectada. La infiltración de agua a través de la junta vertical lisa, es inversamente proporcional a la amplitud de la misma, debido a que en amplitudes menores de junta, aumenta la velocidad del aire al atravesarla, arrastrando mayor cantidad de agua hacia el interior de la cámara. Con el canto vertical liso de 5 mm se alcanza la máxima infiltración de agua de los tres diseños y amplitudes estudiadas, un 3,50 % en relación al agua proyectada.

Sin embargo, para la junta vertical rebajada se obtiene la misma infiltración de agua en la cámara, indistintamente de la amplitud de la misma, aunque en este caso con valores del 2,85 %. Esto es debido a la estrechez que se produce entre los rebajes del canto generando un canal de 4 mm en todas las amplitudes, el cual provoca que el aire a su paso por el mismo arrastre la misma cantidad de agua.

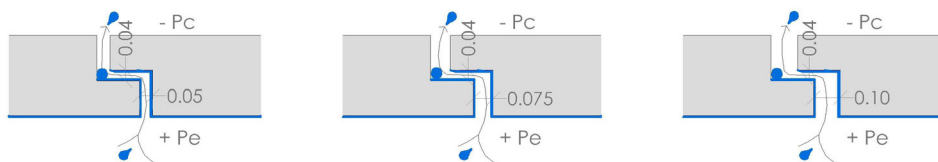


Figura 6.2 Esquema del conducto de 4 mm que provoca que el agua que lo atraviesa, arrastrada por la acción de aire, sea de cantidades similares en amplitudes de junta de 5, 7,5 y 10 mm.

Se ha alcanzado de este modo el primer objetivo, concluyendo que el diseño de la junta vertical incide directamente en la cantidad de agua que se infiltra en la cámara a través de la misma.

De este primer objetivo se deduce que la junta vertical acanalada es el diseño conveniente para una menor infiltración, siendo este, del orden de 0,40 % para 5 mm de amplitud de junta. Se indica a su vez, en el apartado 5.3.4, además de los porcentajes de infiltración de agua en la cámara, como se produce la misma a través de la junta, según su diseño.

En la junta vertical lisa y acanalada las gotas de agua llegan a alcanzar la hoja interior de la cámara de aire, debido a la acción del viento y al aumento de la presión de aire, mientras que en el diseño de la junta vertical rebajada esto no sucede, debido a los quiebros que en ella se producen. La proyección de agua que se origina a través de la junta vertical acanalada y lisa, se puede obstaculizar mediante una pantalla ubicada detrás de la misma, que podría ser la propia subestructura.

Es por tanto, muy poco significativa la cantidad de agua que se infiltra por una junta vertical, independientemente de su diseño, ya que no supera el 3,50 % en relación al agua proyectada.

En relación al **segundo objetivo**; para determinar si el diseño de junta vertical combinada con la junta horizontal lisa y la amplitud de las mismas incide en la cantidad de agua que se infiltra en la cámara de aire de una fachada ventilada, se ha diseñado un segundo prototipo que simula una fachada ventilada con juntas verticales y horizontales, permitiendo modificar la amplitud de junta vertical y horizontal y el grado de confinamiento de la cámara de aire. Se ha sometido igual que el primer dispositivo, a las acciones de lluvia con presión de aire, y de lluvia en ausencia de aire, ambas para distintos confinamientos de cámara y distintas amplitudes de junta.

A partir de los ensayos tipo, 37 a 72, se ha cuantificado la infiltración de agua por la junta vertical según su diseño y junta horizontal lisa. A su vez se han elaborado diversas tablas y gráficas que recogen todos los datos necesarios para su valoración y estudio.

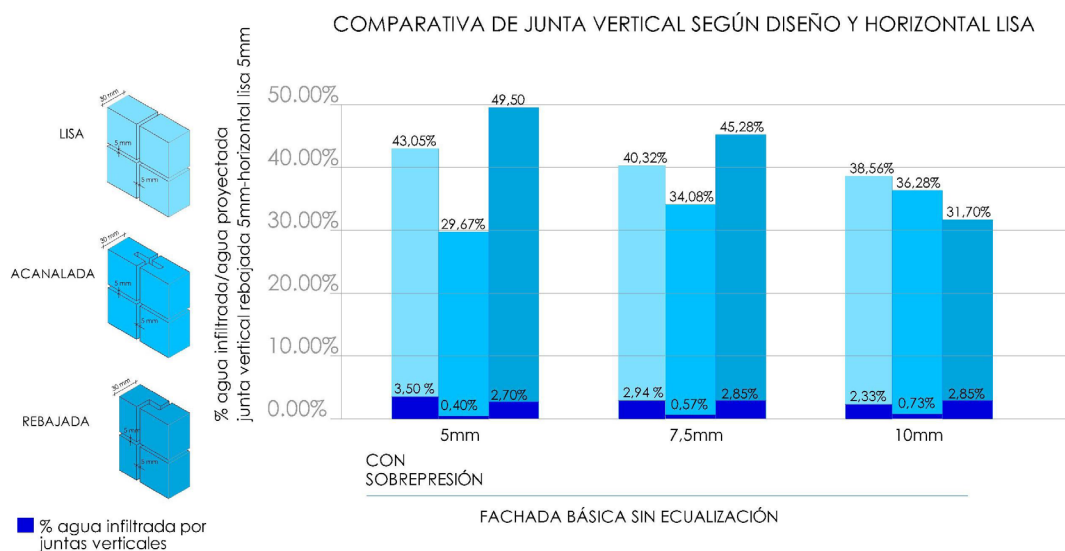
El comportamiento de la junta vertical y junta horizontal de una fachada ventilada ha variado en relación al ensayo de junta vertical. La superficie de exfiltración de aire en este caso es superior y el recorrido del agua a través de las juntas se ve modificado por las intersecciones de ambas, junta vertical y junta horizontal.

A su vez, como se ha mencionado a lo largo de esta investigación, en situaciones de presión atmosférica, independientemente del grado de confinamiento de la cámara, los valores de infiltración de agua a través de las juntas son similares. Los mismos se igualan a las condiciones de cámara ecualizada y sobrepresión, ya que en esta se anulan las diferencias de presión entre exterior e interior y por lo tanto no existen movimientos de masas de aire. Esto sucede en cada diseño de junta vertical y para todas las amplitudes, siendo las diferencias insignificantes. Los menores valores de infiltración de agua en la cámara, se obtienen en estas situaciones.

Por lo tanto, en estas condiciones, el diseño más recomendado es el de junta rebajada de 7,5 mm de amplitud, con un porcentaje de infiltración de agua del 18,32 % en relación al agua proyectada. En el apartado 5.4.4 se describe pormenorizadamente el movimiento del agua a través de los distintos diseños de junta vertical y horizontal lisa, en ausencia de diferencias de presión.

Sin embargo, al no ser la situación más habitual para este sistema constructivo sus resultados no aclaran cuál sería el mejor diseño para una menor infiltración. No obstante el estudio nos permite entender mejor el comportamiento del agua a través de la junta vertical y horizontal y averiguar cómo se infiltra en presencia de otros factores.

De esta manera, a continuación se analiza el mejor diseño para la situación más usual, cámara sin ecualizar y sobrepresión, con juntas combinadas verticales según diseño y horizontales lisas.



Gráfica 6.2 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según diseño de junta vertical y junta horizontal lisa.

La infiltración de agua que se produce cuando sólo existe junta vertical, no es la misma que se produce por la junta vertical cuando esta se combina con junta horizontal, ya que las juntas verticales actúan en este caso de drenaje de las juntas horizontales. Por lo tanto es comparable solamente a efectos de verificación del agua que se infiltra, si existe junta horizontal.

Hasta aquí, se ha analizado la cantidad de agua que se infiltra según el diseño de junta vertical propuesto, y se ha observado que a través de la junta vertical acanalada se infiltra menos cantidad de agua que en los otros dos diseños, lisa y rebajada, dato que se repite cuando combinamos los distintos diseños de las juntas verticales con la junta horizontal lisa.

Como se observa en el gráfico, la infiltración que se produce con juntas combinadas es muy superior a la producida con juntas solamente verticales, lo que implica que el agua se infiltra por la junta horizontal, usando las juntas verticales como drenaje. Esto origina que tanto el diseño de la junta y su amplitud, como el sistema de anclaje de las piedras, influya en la infiltración de agua en la cámara.

La menor infiltración obtenida es del 29,7 % en relación al agua proyectada, para un diseño de junta vertical acanalada y horizontal lisa de amplitud 5 mm. Sin embargo la mayor infiltración de agua es de 49,50 % y también se obtiene para una amplitud de 5 mm, aunque con junta vertical rebajada y horizontal lisa.

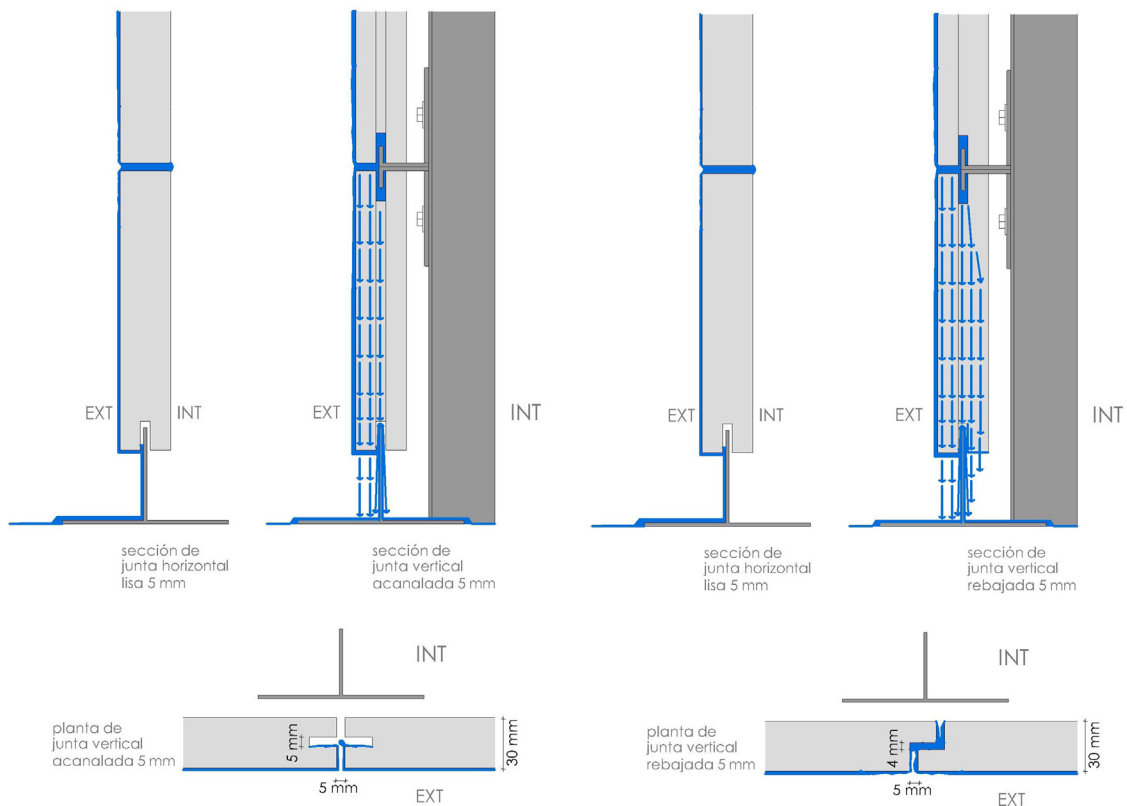


Figura 6.3 Esquema de recorrido del agua en ausencia de aire por la junta vertical acanalada y horizontal lisa y por la junta vertical rebajada y horizontal lisa para amplitudes de 5 mm.

Así pues, la junta horizontal lisa, está presente en todas las combinaciones al igual que el sistema de anclaje de los aplacados, por lo tanto el motivo de la menor infiltración se debe al diseño de la junta vertical. De este modo se ha comprobado que la presión de aire alcanzada en ambos casos es la misma, 450 Pa, por lo que no provoca una mayor infiltración a través de la junta horizontal en un diseño u otro.

A su vez se ha comprobado que, en la junta horizontal lisa de 5 mm, se produce un menisco de agua que genera un canal que absorbe el agua que discurre por fachada y que drena por la junta vertical. Debido al diseño del anclaje de las piedras, con amplitud de junta de 5 mm, este es un obstáculo en el recorrido del agua hacia la junta vertical, cuando la junta vertical es acanalada el agua discurre por ese canal arrastrando el aire parte hacia la cámara, sin embargo cuando la junta vertical es rebajada se mantiene el canal de agua en vertical, debido a la capilaridad en el conducto de 4 mm producto del rebaje de los cantos que forman la junta, y el aire al pasar por el mismo adquiere mayor velocidad arrastrando el agua acumulada. (Véase figura 6.3)

Por lo tanto el 20 % de diferencia de infiltración, entre el diseño de junta acanalada y rebajada, se debe a la cantidad de agua que arrastra el aire en su paso por la junta vertical, producto de la velocidad que adquiere, mayor en el caso de la junta rebajada, y a la capacidad del diseño de la junta vertical para infiltrar la menor cantidad de agua hacia la cámara.

No obstante, la junta vertical rebajada de 10 mm, combinada con la junta horizontal lisa, es el segundo mejor diseño para una menor infiltración de agua en la cámara, obteniendo un valor del 31,70 % y siendo sólo inferior en un 5 % respecto al diseño de junta vertical acanalada.

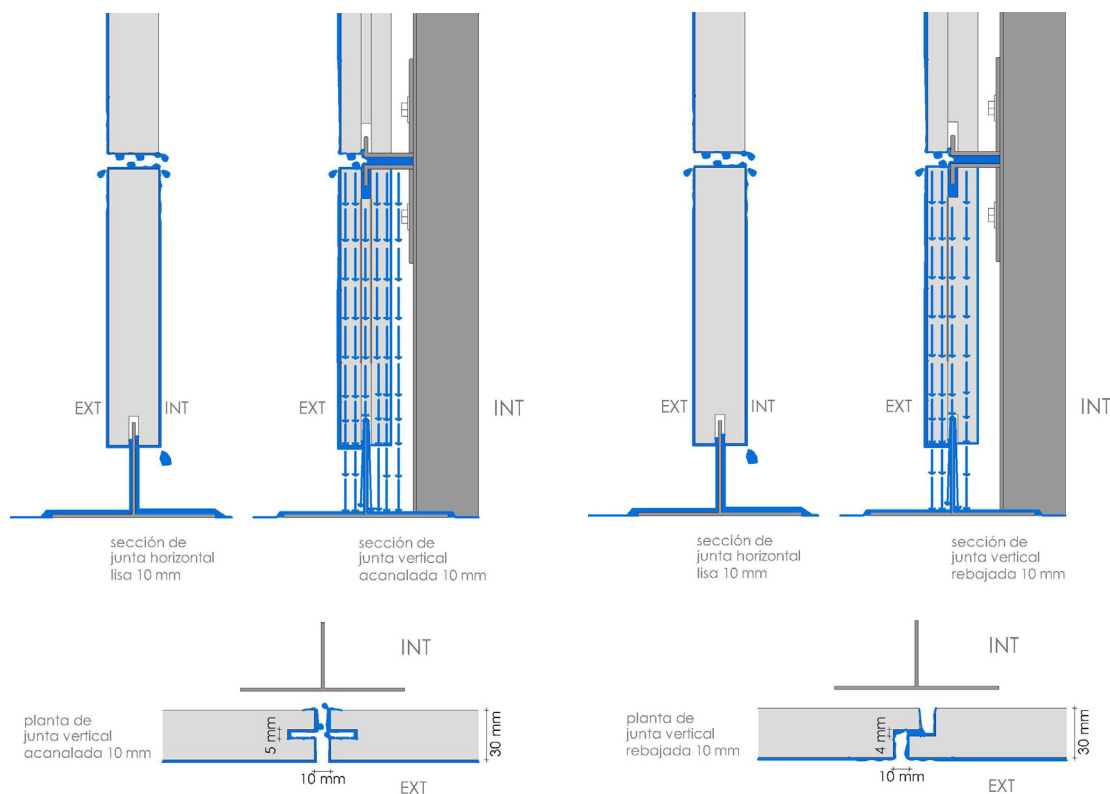


Figura 6.4 Esquema de recorrido del agua en ausencia de aire por la junta vertical acanalada y horizontal lisa, y por la junta vertical rebajada y horizontal lisa para amplitudes de 10 mm.

La diferencia, en este caso, radica en la amplitud de las juntas, el anclaje de los aplacados con amplitudes de 10 mm ya no es un obstáculo en el recorrido del agua, permitiendo que esta se deslice a través de todo el canto de la junta vertical, en la junta horizontal de 10 mm no se produce menisco de agua, aunque sí se drena la misma por la junta vertical.

Así pues, partiendo de los datos de presión de aire alcanzados en cada ensayo, se obtiene el mismo valor de 440 Pa, tanto para la junta vertical acanalada como para la junta vertical rebajada, combinados ambos con junta horizontal lisa y amplitudes de 10 mm. Por lo tanto a través de la junta horizontal se introduce la misma cantidad de agua en los dos diseños. La diferencia de infiltración de agua la encontramos en el recorrido que esta sigue a través de la junta vertical. En el diseño de junta vertical acanalada, el agua que discurre desde la junta horizontal ha salvado el eje de la acanaladura y se infiltra directamente en la cámara, sin embargo en la junta vertical rebajada la cantidad de agua que discurre por la junta vertical es menor. (Véase figuras 6.4 y 6.5)

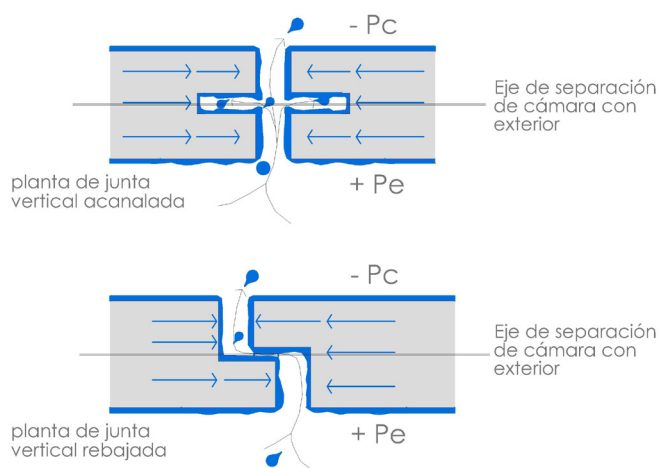


Figura 6.5 Esquema de recorrido del agua por la junta vertical acanalada y por la junta vertical rebajada, para amplitudes de 10 mm.

La diferencia de sólo un 5 % de infiltración de agua, se debe a que pese a que discurre más agua por el canto de la junta acanalada, dentro del eje de la cámara, la velocidad del aire es mayor en la junta rebajada y las cantidades infiltradas no son muy dispares.

Continuando con el análisis, se comprueba que para una amplitud de la junta de 7,5 mm, el mejor diseño es el de junta vertical acanalada y horizontal lisa, con un valor de infiltración de agua de 34,08 %, siendo a su vez el tercer diseño recomendado. En el análisis de los datos nos remitimos a lo explicado para la amplitud de la junta de 5 mm.

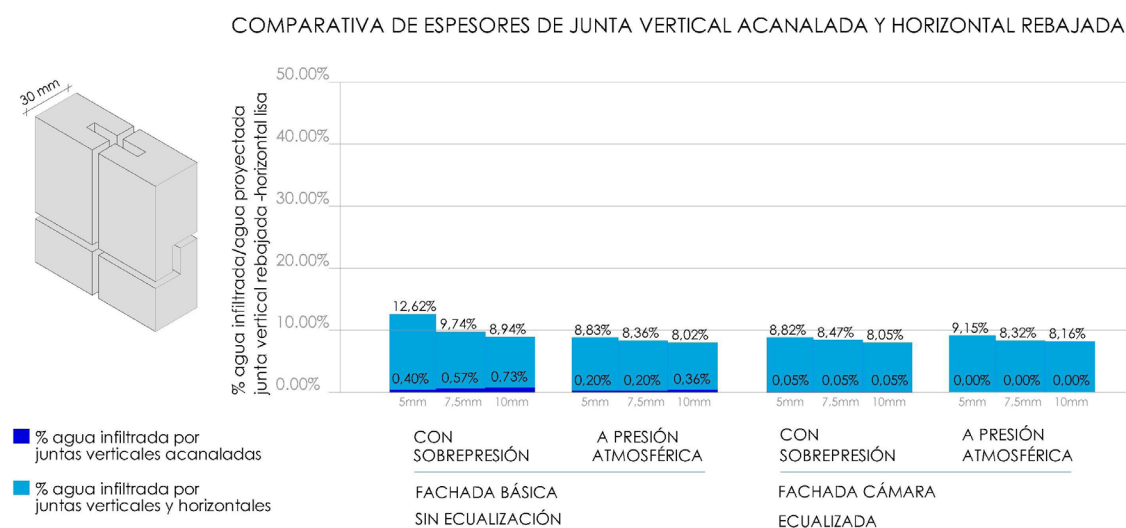
Por lo tanto la junta vertical acanalada con junta horizontal lisa, ofrece valores de infiltración inferiores en amplitudes de 5 y 7,5 mm, mientras que para espesores de junta de 10 mm se recomienda la junta vertical rebajada, con únicamente una diferencia del 5 % en relación a la junta vertical acanalada.

La junta vertical lisa, aunque es el diseño económicamente más viable, presenta valores de infiltración de agua entre un 38 %, para 10 mm de amplitud y hasta un 43 % para 5mm, siendo los mismos inversamente proporcionales a la amplitud de la junta. En amplitudes de 5 mm es un 13 % superior al diseño de junta acanalada, mientras que en amplitudes de 7,5 mm sólo la supera en un 6 %.

No obstante, la amplitud de junta sí influye en la cantidad de agua que se infiltra a través de la misma, siendo su combinación con distintos diseños de junta vertical el motivo de la mayor o menor infiltración de agua.

Podemos concluir entonces, que la junta vertical acanalada responde al mejor diseño en general, tanto si realizamos la fachada únicamente con junta vertical, como si la realizamos combinando la junta vertical con la junta horizontal lisa. La diferencia radica, en la cantidad de agua infiltrada cuando se combina la junta vertical con la horizontal.

Con respecto al **último objetivo** marcado, objetivar y proponer el diseño óptimo de junta para la utilización de este sistema constructivo, a partir de los datos obtenidos a través de esta investigación, y de datos facilitados por la investigación realizada por D. Felipe G. Bescansa, la cual se centra el estudio de la junta horizontal. Se concluye que la menor infiltración de agua por juntas verticales se produce con el diseño de cantos acanalados, mientras que en la junta horizontal la menor infiltración se produce con canto rebajado. Por lo tanto se han combinado y ensayado, en el prototipo 2, y se ha obtenido el dato de infiltración de agua más bajo de todos los ensayos realizados con juntas combinadas verticales y horizontales, con valores máximos de infiltración de agua del 12,62 %.



Gráfica 6.3 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

Con este diseño de junta vertical acanalada y horizontal rebajada, se ha comprobado que se minimiza de forma considerable el agua introducida, debido a las diferencias de presión o ráfagas de aire. En la junta vertical acanalada, se produce un incremento de sección en el eje central del canto que provoca una disminución de la velocidad del aire, y el descenso en vertical de gran parte de las gotas de agua en ese punto. En relación a la junta horizontal rebajada, se ha observado en los ensayos a sobrepresión con cámara sin ecualizar, que el agua en ningún momento rebosa por la junta horizontal rebajada. Esto es debido a la presencia de la junta vertical, que actúa como drenaje sin permitir que el agua, que se acumula en la junta horizontal rebajada, llegue a rebosar hacia el interior de la cámara.

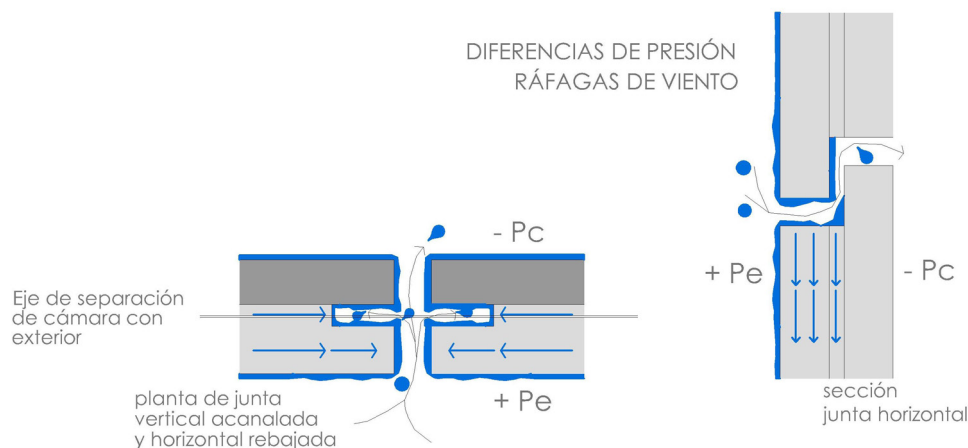


Figura 6.6 Esquema de recorrido del agua por la junta vertical acanalada y por la junta horizontal rebajada, para amplitudes de 10 mm.

La infiltración de agua en presencia de aire, es inversamente proporcional a la amplitud de la misma. Con el espesor de junta horizontal rebajada de 5 mm se produce un menisco que absorbe el agua que discurre por la fachada, el cual debido a la acción del viento, se mueve a mayor velocidad arrastrando más cantidad de agua hacia la junta vertical acanalada, por la que se drena. Por lo tanto, con amplitud de junta de 10 mm tendremos la menor infiltración de agua para junta vertical acanalada y junta horizontal rebajada. Como se puede observar en la gráfica 6.3 la diferencia de porcentajes de infiltración de agua en las distintas situaciones y para diferentes espesores es mínima.

De esta forma se ha concluido, que esta combinación de juntas es el diseño más propicio a utilizar en una fachada ventilada con aplacados de piedra con junta vertical y horizontal.

Del desarrollo de toda esta investigación y tras enumerar como se han alcanzado los objetivos planteados, se han extraído diversas conclusiones que aportan luz sobre la cantidad de agua que se infiltra a través de las juntas en las fachadas ventiladas. A su vez se ha podido comprobar que un sistema de fachada ventilada compuesto únicamente por juntas verticales, presenta grandes diferencias cuantitativas respecto a los sistemas de combinación de juntas verticales y horizontales.

Se puede deducir por tanto, que en una fachada conformada por juntas verticales se obtiene una mínima entrada de agua en la cámara. A su vez, en los casos de fachadas con despieces de aplacados con junta solamente vertical se debe confiar en el sellado de la junta horizontal.

Igualmente, se ha visto que los diseños de junta vertical ofrecen mayor resistencia a la infiltración de agua. Los ensayos se han realizado con la junta vertical abierta completamente a la cámara de aire, por lo que en ocasiones, debido a la presión de aire alcanzada, el agua llega a proyectarse directamente en lo que sería la cara interior de la cámara. Los ensayos se han realizado de este modo, para poder observar qué ocurre en la junta vertical. A su vez se ha comprobado en los ensayos con juntas combinadas, que el agua no alcanza la cara interior de la cámara si se ubica un obstáculo delante de la junta vertical. Por lo tanto, se recomienda que en el empleo de fachadas ventiladas únicamente con junta vertical, el sistema de subestructura debe formar parte de ese obstáculo.

De esta forma, se han dado resultados de infiltración de agua en la cámara de distintos diseños de juntas verticales combinados con junta horizontal lisa, los cuales posibilitan la extrapolación a otros materiales que permitan alguno de estos diseños en su canto.

Este estudio nos ofrece así datos relativos a 1m² de fachada y que ayudan a elegir el mejor diseño para una menor infiltración de agua. Datos que en el caso de estar ecualizada la cámara deben de considerarse con más precaución ya que la ecualización correcta de las cámara de aire no siempre se produce y podrían no ser extrapolables.

RECOMENDACIONES

Una vez finalizados y analizados todos los ensayos planteados, la primera recomendación constructiva a realizar para minimizar la entrada de agua en una fachada ventilada, sería confinar la cámara y eliminar así parte de las fuerzas que introducen el agua, consiguiendo así una infiltración con un promedio del 10 % menos.

En el caso de edificaciones de gran altura y exentas, debería ser obligatorio el confinamiento de la cámara.

Respecto a las situaciones de cámara sin ecualizar se hacen las siguientes recomendaciones en cuanto al diseño de canto y amplitud de la junta:

Evidentemente la junta lisa es la más económica, por lo tanto en el caso de acudir a este diseño se recomienda una amplitud de junta de 10 mm.

Si se quiere minimizar al máximo la infiltración y es admisible el encarecimiento de los cantos, el diseño óptimo recomendable sería de junta vertical acanalada y junta horizontal rebajada. Dentro de esta solución la mejor amplitud de junta es de 10 mm, no siendo sustanciales las diferencias con 5 y 7,5 mm.

7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

AENOR. NORMA UNE EN 1026:2000, Reglamento particular de la marca AENOR párrafo ventanas y puertas. Revisión 9 de enero de 2006.

Anderson, J.M. Y Gill, J.R. (1988). Rainscreen Cladding: A Guide to Design Principles and Practice. Butterworth-Heinemann.

Andersen, N.E. (1988). "Summer Condensation in an Unheated Building", Proc. of Symposium and Day of Building Physics, Lund University, August 24-27, 1987, Swedish Council for Building Research, 164-165.

ASEFAVE (2006). Manual de Producto: Fachadas Ligeras. Madrid: ASEFAVE, Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventanas.

Avellaneda, J. (1997). "Impermeabilidad al agua en fachadas de placas ligeras con juntas abiertas", I Congreso Nacional de ventanas y fachadas ligeras: ponencias, San Sebastián, Tecnopress, Barcelona, 59-61.

Avellaneda, J. (1997). "Facanes lleugeres ventilades. Criteris per al disseny constructiu". Papers de Construcció, Departament de Construccions Arquitectòniques I.

Avellaneda, J. y Paricio, I. (1999). *Los revestimientos de piedra*. Barcelona: Bisagra.

Baskaran, B.A. y Brown, W.C. (1992). "Performance of pressure equalized rainscreen walls under cyclic loading". Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes, 16, 183-93.

Bikerland, O. (1962). "Curtain walls". Handbook 11B, Norwegian Building Research Institute, Oslo.

Bikerland, O. (1968). "The mechanism of rain penetration". Proceeding of international symposium held oslo. September 25-28, 1967. Cib report n°11.

Blocken, B., Carmeliet, J. (2000). "Driving Rain on Building Envelopes—I. Numerical Estimation and Full-Scale Experimental Verification", J. of Thermal Insulation and Bldg Envelopes, vol 24, no 4, 61-110.

Brown, W.C.; Rousseau, M.Z.; Dalglish, W.A. (1991). "Field testing of pressure-equalized rain screen walls" Exterior Wall Systems: Glass and Concrete Technology, Design, and Construction pp. 59-69, (ASTM Special Technical Publication v. 1034) (NRCC-38991).

Choi, E.C.C. (1993). "Simulation of wind-driven rain around a building", J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 46&47, 721-729.

Choi, E.C.C. (1994). "*Determination of the wind-driven-rain intensity on building faces*", J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 51, 55-69.

Chown, G.A. Brown, W.C. y Poirier, G.F. (1997). "*Evolution of Wall Design for Controlling Rain Penetration*". Construction Technology Update No. 9. IRC-NCR-CNRC. National Research Council Canada- Institute for Research in Construction.

Código Técnico de la Edificación (CTE).Ministerio de la Vivienda, Madrid: BOE, 2008. Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Cordero, B. (2015). *Muro cortina modular con marco de baja transmitancia térmica integrado en el vidrio aislante a través de adhesivos estructurales*. Tesis Doctoral dirigida por Alfonso García Santos.

Finn, D.W. (1995). "Rain penetration of the window-wall joint". *Proc. Building Envelope Performance and Durability*, IRC Technical Seminar, National Research Council, Ottawa.

Finch, G. (2007). The Performance of Rainscreen Walls in Coastal British Columbia. M.A.Sc. Thesis. Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canada.

Frank, W. Entwicklung von Regen and Wind auf Gebaeudefassaden (1973). Verlag Ernst & Sohn, Bertichte aus der Bauforschung, 86, 17-40.

Ganguli, U. and R.L. Quirouette 81987). Pressure equalization performance of a metal and glass curtain wall. Proceedings, 1987, CSCE Centennial Conference, Montréal, Québec, May 19-22 1987, 1, 127-144 (NRCC 29024).

Ganguli, U. and W.A. Dalglish (1988). Wind pressures on open rain screen walls: Place Air Canada, Journal of Structural Engineering, vol. 114, no. 3, 642-656 (NRCC 28859).

García, F. y Fernández, J.(2014). "Entrada de agua en aplacados ventilados de piedra", X Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, Santiago de Chile.

García Santos, A. Cordero, B. y Overend, M. (2015). "Thermal performance of novel frame-integrated unitised curtain wall". Revista de la construcción, 14, 1, 23-32.

Garden, G.K.(1963). Rain penetration and its control. National Research Council of Canada, Division of Building Research, Canadian Building Digest ,40, 4.

Garden, G.K.(1963). "Joints Between Prefabricated Components", *Building Note*, 40, 5.

Garden , G.K.(1965). "Control of Air Leakage is Important", Canada Building Digest 72, national Research Council of Canada, Ottawa.

Garden, G.K., CBD-97(1968). *Look at Joint Performance*. Div of Building Research,

NRCC, Ottawa.

Giancola, E. (2010). El comportamiento energético de una fachada ventilada de juntas abiertas. Tesis. Departamento de Construcción y Tecnología arquitectónicas, Escuela técnica superior de Arquitectura. Universidad politécnica de Madrid.

Gubas, G.A.(1968). "Experience in the promotion and application of the open joint technique for wall cladding in U.K.", Symposium on Weathertight Joints for Walls; International Council for Building Research. Oslo, Norwegian Building Research Institute.

Henriques, F.M.A. (1992). Quantification of wind-driven rain – an experimental approach. *Building Research and Information* 20(5), 295-297.

Herbert, M.R.R. (1974). "Open jointed rain screen cladding" *Bre. Garston* ,89-74.

Hernández Minguillón, R., Irulegi Garmendia, M.O., Serra, A., Ruiz Pardo, A., Torres, L. (2012). "Fachadas ventiladas activas para reducir la demanda de calefacción en los edificios de oficinas. El caso de España". *Informes de la construcción*, vol. 64, no. 528, 575-585.

Hershfield, M. (1996). *Survey of Building Envelope Failures in the Coastal Climate of BC*. Ottawa, Nov. 1996.

Huedo, P. Pitarch, A.M., Centelles, A. y Monfort, L. (2010). *Entrada de agua en las juntas de las fachadas ventiladas*, Castellón: Qualicer.

Inculet, D.R., Surry, D.(1994). "Simulation of Wind-Driven Rain and Wetting Patterns on Buildings", Report BLWT-SS30-1994, U. of West. Ontario, London.

Inculet, D., Surry, D.(1996). The Influence of Unsteady Pressure Gradients on Compartmentalization Requirements for Pressure-Equalized Rainscreens, CMHC Research Report by the Boundary Layer Wind Tunnel, University of Western Ontario.

Irwin, P.A., G.D. Schuyler, and M.A. Wawzonek, (Morrison-Hersfield Limited Consulting Engineers)(1984). "A wind tunnel investigation of rain screen wall systems", NRCC contract no. 15SR.31944-3-0014, 127.

Isaksen, T.(1965). "Rain penetration in joints. Influence of dimensions and shape of joints on rain penetration.", NBRI Reprint No. 119 or rilem/ CIB, Helsinki 1965.

Isaksen, T.(1966). "Wind driven rain and the forming of joints between concrete panels", NBRI Reprint No. 131 in Norwegian.

Isaksen, T.(1967). "Rain leakage tests on through-joints", *Weathertight Joints for Walls: Proceedings of the International CIB Symposium*, Oslo, Norway, September 25-28, 265-269.

Isaksen T. (1968). "Rain leakage tests on open joints in ventilated cladding". *Proceeding Of International Symposium Held Oslo*. September 25-28, 1967. CIB Report N°11.

Karagiozis, A., and Hadjisophocleous, G., "Wind-Driven Rain on High-Rise Buildings",

Proceedings of BE/TEC/ASHRAE/DOE Thermal Performance of Building Envelopes VI, Dec., 1995, 399-406.

Killip, I.R. and D.W. Cheetham (1984), "The prevention of rain penetration through external walls and joints by means of pressure equalization", *Building and Environment*, vol. 19, no. 2, 81-91.

Lacasse, M., Miyauchi, H. (2009). "Water penetration of cladding components: an overview of the vulnerability of sealed joints to water penetration", *Proc. 12th Canadian Conference on Building Science and Technology*, Montréal, Quebec, May 6-8, 1-12.

Lacy, R.E., (1965). *Driving-Rain Maps and the Onslaught of Rain on Buildings*. Building Research Station Current Paper 54, HMSO Garston, U.K.

Laviolette, S., and Keller, H. (1993), Performance Monitoring of a Brick Veneer / Steel Stud Wall System, CMHC Research Report by Keller Engineering, June.

Latta, J.K. (1973). *Walls, windows and roofs for the Canadian climate*. National Research Council of Canada, Division of Building Research, 75. (NRCC13487).

López –Rivadulla, F.J. (2011). *Estudio Transversal de la Colonización Biológica en fachadas ventiladas de granito en Galicia*. Tesis. Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de A Coruña.

López Díaz, M., Pérez González, M.J. y Ramos Méndez (2007). *I Estudio de la influencia de la superficie de ventilación en la ecualización de la presión de una fachada ventilada*, Trabajo de investigación tutelado por Fernández Madrid, Joaquín, septiembre de 2007.

Lstiburek, J. (2005). *Builders Guide for Cold Climates*, Building Science Press, Westford, MA, 2005.

Lstiburek, J.W. (2007). "The perfect wall". *ASHRAE Journal*, 49, 74-78.

MINISTERIO de VIVIENDA (2006). CÓDIGO TÉCNICO de LA EDIFICACIÓN. HS Salubridad. HS1 Protección frente un la humedad. Madrid. Marzo de 2006.

Montero, E. (2007). *Manual Básico. Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad*. Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Ortega, F. (1989). *Patología de la construcción: humedades en la edificación*. Editan D.L., Sevilla.

Pardal, C. y Paricio, I. (2006). *La fachada Ventilada y Ligera*, Barcelona: Bisagra.

Platts, R.E., Sasaki, J.R., Rain Leakage (1965). *Tests on Vertical Through Joints*. Div. of Building Research, Internal Report No. 23, Ottawa, 1965.

Popp, W., Mayer, E., Kunzel, H., (1980). Untersuchungen über die Belüftung des Luftraumes hinter vorgesetzten Fassadenbekleidung aus kleinformatischen Elementen.

Forschungsbericht B Ho 22/80: Fraunhofer Institut für Bauphysik, , Holzkirchen, Germany.

Quirouette, R. (1996). *Laboratory Investigation and Field Monitoring of Pressure-Equalized Rainscreen Walls*, CMHC Research Report, September, 1996.

Ritchie, T. (1961). *Cavity walls*. National Research Council of Canada, Division of Building Research, Canadian Building Digest ,21, 4 .

Rousseau, M.Z. (1990). “Hechos y Ficciones de Paredes de Pantalla de lluvias”. *Construcción Canadá* , 32 (2), 40, 42-44, 46

Sanchez-Ostiz, A. (2003). “Fachadas. Cámaras ventiladas. Pielas transpirables”. *Detail. Revista de arquitectura y detalles constructivos*. 4, 472-476.

Sanchez-Ostiz, A. (1996). “Fachadas. Transición e innovación tecnológica”. *Revista de edificación*, 22, 53-62.

Sánchez-Ostiz, Ana (2011). Fachadas. Cerramientos de Edificios. Ed. CIE Dossat 2000, Madrid.

Sandin, K., (1991). *Skalmurskonstruktionens fukt- och temperaturbetingelser*. Rapport R43:1991 Byggeforskningsrådet, Stockholm, Sweden.

Straube, J.F. Burnett, E.F.P. (1995). *Vents, Ventilation Drying, and Pressure Moderation*. University Of Waterloo Building Engineering Group report for CMHC, Ottawa, 1995.

Straube, J.F. (1998). *Moisture Control and Enclosure Wall Systems*. Ph.D. Thesis, Civil Engineering Department, University of Waterloo, April, 1998.

Straube, J.F., and Burnett, E.F.P., "Driving Rain and Masonry Veneer", Water Leakage Through Building Facades, ASTM STP 1314, R. Kudder and J.L. Erdly, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1997, pp. 73-87.

Straube, J.F. and Burnett, E.F.P. (1998). "Drainage, Ventilation Drying, and Enclosure Performance". *Proceedings of Thermal Performance of Building Envelopes VII*, Clearwater Beach Florida, December 4-7, 189-198.

Straube, J.F. and Burnett, E.F.P. (1998). “Vents, Ventilation and Masonry Veneer Wall Systems”. *Proc. of the Eighth Canadian Masonry Symposium*, Jasper, Alta., Canada, May 31-June 3, 194-207.

Straube, J.F. and Burnett, E.F.P. (1999). “Rain Control and Design Strategies”. *J. of Thermal Insulation and Building Envelopes*, 41-56.

Straube, J.F. and Burnett, E.F.P. (2000). “Simplified Prediction of Driving Rain Deposition”. *Proc. of International Building Physics Conference*, Eindhoven, September 18-21, 375-382.

Straube, J.F. (2012), *High Performance Enclosures: Design Guide for Institutional Commercial and*

Industrial Buildings in Cold Climates. Building Science Press, Somerville, Massachusetts, 2012.

Wilson, A.G. (1965). "Condensation in Insulated Masonry Walls in the Summer", *Proc. Of RILEM/CIB Symposium*, Helsinki, 2-7.

FIGURAS

Figura 2.1 Imagen de las Fuerzas que producen la penetración de la lluvia. Autor: Garden (CBD40)

Figura 2.2 Clasificación de Straube y Burnett de los muros ante el control de la lluvia. Fuente: John Straube y Eric F.P. Burnett

Figura 2.3 Perfect Barrier Walls (Straube)

Figura 2.4 Storage Wall Systems (Straube)

Figura 2.5 Drained Wall Systems (Straube)

Figura 2.6 Esquema del comportamiento de juntas verticales en el DBR. Platts, R.E. Y Sasaki, J.R.

Figura 4.1 Diseños de junta vertical, lisa, acanalada y rebajada.

Figura 4.2 Imagen de los distintos diseños de junta vertical, lisa, acanalada y rebajada combinados con junta horizontal lisa.

Figura 4.3 Imagen general del laboratorio de hidráulica e imagen del banco de pruebas A-E-V en el CITEEC.

Figura 5.1.1 Prototipo de fachada ventilada 1

Figura 5.1.2 imagen de la línea de boquillas que condiciona la ubicación de la junta vertical.

Figura 5.1.3 Prototipo de fachada ventilada 1

Figura 5.2.1 Imágenes del perfil en L superior al que se le atornillan las uñas para evitar el vuelco de la piedra.

Figura 5.2.2 Imágenes de la piedra con el perfil en L superior al que se le atornillan las uñas para evitar su vuelco.

Figura 5.2.3 Imagen del perfil en T invertido situado en la base del prototipo y de los tubulares de apoyo de las ruedas.

Figura 5.2.4 Imagen de la varilla roscada situada en los laterales del cajón.

Figura 5.2.5 Imagen de la unión de la varilla roscada a las ruedas adheridas a las piedras.

Figura 5.2.6 Imagen de la imprimación de sikafill en la cámara de aire.

Figura 5.2.7 Imagen del orificio practicado en la cámara para el vaciado del agua que se infiltre en la misma.

Figura 5.2.8 Imagen del sellado con silicona de los encuentros entre perfilería y cajón de madera.

Figura 5.2.9 Imágenes del orificio lateral del cajón de tablero marino que permite regular el grado de confinamiento de la cámara.

Figura 5.2.10 Regla pegada a perfil en T invertido.

Figura 5.2.11 Imagen del centrado de la línea de boquillas

Figura 5.2.12 Imagen del EPDM pegado.

Figura 5.2.13 Imagen de procedimiento de corte de piedras en taller.

Figura 5.2.14 Imagen de la uña y la varilla roscada que permite elevar la piedra.

Figura 5.2.15 Imagen de la uña superior que evita el vuelco de la piedra.

Figura 5.2.16 Imagen del sistema de rodamiento de las piedras laterales inferiores.

Figura 5.2.17 Imagen de la piedra central superior colocada en la uña con la varilla roscada que permite elevarla.

Figura 5.2.18 Imagen de los perfiles en L y T en sentido vertical para anclar las uñas y de los varios aplacados de piedra ya colocados.

Figura 5.2.19 Imagen del perfil en L pegado a la piedra lateral a la que se atornilla una varilla roscada para permitir su desplazamiento lateral, a través de la manipulación de una palometa exterior.

Figura 5.2.20 Imagen de las varillas roscadas laterales. Una inferior para mover la piedra inferior y dos superiores para desplazar la piedra superior.

Figura 5.2.21 Imagen de técnicos del CITEEC subiendo el prototipo al banco de ensayos.

Figura 5.2.22 Imagen de las piedras en taller.

Figura 5.2.23 Imagen de modificación de diseño de junta en taller.

Figura 5.2.24 Imagen de pesado de las garrafas.

Figura 5.2.25 Imagen de la garrafa con el tubo de desagüe de la cámara de aire introducido.

Figura 5.2.26 Vista de la manguera de desagüe del agua no infiltrada en la cámara.

Figura 5.2.27 Imagen del sistema de adquisición de datos de banco de ensayos A-E-V.

Figura 5.2.28 Fichero de configuración del sistema de adquisición de datos.

Figura 5.2.29 Sistema de adquisición de datos. Gráficos para comprobación de entrada de escalones de aire.

Figura 5.3.1 Esquema de los diseños de junta vertical.

Figura 5.3.2 Imagen de la línea de boquillas de proyección de agua en prototipo de fachada ventilada con junta vertical.

Figura 5.3.3 Esquema de prototipo de fachada ventilada con junta vertical, incluyendo situación de boquillas de proyección de agua.

Figura 5.3.1.1 Esquema de la proyección de agua en pequeños chorros en las esquinas inferiores de la piedra. Vista frontal desde el interior de la cámara de aire.

Figura 5.3.1.2 Imagen de la junta vertical de 5 mm en la que se aprecia que no se produce ningún menisco.

Figura 5.3.1.3 Vista de la proyección de agua en el vidrio que simula la cara interior de la cámara de aire.

Figura 5.3.1.4 Esquema de la proyección de agua en el vidrio que simula la cara interior de la cámara de aire.

Figura 5.3.1.5 Vista de la proyección de agua en el vidrio que simula la cara interior de la cámara de aire.

Figura 5.3.1.6 Imagen desde el interior de la cámara de aire de ensayo de junta vertical de 5 mm con cámara ecualizada y sobrepresión.

Figura 5.3.1.7 Imagen desde el interior de la cámara de aire de ensayo de junta vertical de 5 mm con cámara ecualizada y sobrepresión.

Figura 5.3.1.8 Imagen del interior de la cámara con charcos de agua y carril por el que deslizan las ruedas ancladas a la piedra.

Figura 5.3.1.9 Imagen de la proyección de agua en el prototipo de fachada trasventilada desde el exterior de la misma.

Figura 5.3.1.10 Imagen de la junta de 5 mm en ensayo con cámara ecualizada y a presión atmosférica. Junta humedecida en su canto.

Figura 5.3.1.11 Imagen de la junta vertical lisa con amplitud de 7,5 mm.

Figura 5.3.1.12 Imagen de proyección de agua a través de la junta vertical lisa con amplitud de 7,5 mm, en condiciones de cámara sin ecualizar y sobrepresión.

Figura 5.3.1.13 Imagen de acumulación de gota en la esquina de la junta vertical lisa con amplitud de 7,5 mm.

Figura 5.3.1.14 Esquema de proyección de agua en la esquina de la junta vertical lisa con amplitud de 7,5 mm.

Figura 5.3.1.15 Esquema de gota de agua en la esquina de la junta vertical lisa con amplitud de 7,5 mm que discurre por el perfil en T invertido.

Figura 5.3.1.16 Esquema del recorrido del agua por la junta vertical lisa.

Figura 5.3.1.17 Esquema del movimiento del agua por la junta vertical. Vista frontal.

Figura 5.3.1.18 Vista desde el interior de la cámara de la junta vertical lisa de 10 mm.

Figura 5.3.1.19 Vista desde el interior de la cámara de ensayo de junta vertical lisa de 10 mm. La proyección de agua alcanza la hoja interior de la cámara que se corresponde en la imagen con el vidrio.

Figura 5.3.1.20 Esquema de la proyección del agua en las esquinas inferiores de la junta vertical.

Figura 5.3.15 Gráfico de porcentajes de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión en relación al agua proyectada para una fachada sin ecualizar con junta vertical lisa y horizontal lisa.

Figura 5.3.2.1 Esquema de junta vertical acanalada en sus tres amplitudes.

Figura 5.3.2.2 Imagen de la infiltración de agua a través de la junta vertical acanalada de 5 mm.

Figura 5.3.2.2 Esquema de las gotas de agua que discurre por el canto de la junta vertical y se acumulan en la esquina inferior. Vista frontal desde la cámara.

Figura 5.3.2.3 Esquema de proyección de agua, en presencia de aire, directamente sobre el vidrio que simula la cara interior de la cámara.

Figura 5.3.2.4 Imagen desde el interior de la cámara de la proyección del agua en el vidrio que simula la cara interior de la cámara de aire.

Figura 5.3.2.5 Imagen desde el interior de la cámara de la proyección del agua en el vidrio que simula la cara interior de la cámara de aire.

Figura 5.3.2.6 Esquema del agua que discurre por la junta vertical acanalada, vista desde el interior de la cámara.

Figura 5.3.2.7 Imagen desde el interior de la cámara de la proyección de agua en la cara interior de la misma a través de la junta vertical acanalada de 10 mm de amplitud.

Figura 5.3.2.8 Imagen desde el interior de la cámara de la junta vertical acanalada de 10 mm de amplitud en ausencia de presión de aire.

Figura 5.3.3.1 Esquema de diseño de junta vertical rebajada para 5, 7,5 y 10 mm de espesor.

Figura 5.3.3.2 Vista frontal desde el interior de la cámara de junta vertical rebajada de 5 mm.

Figura 5.3.3.3 Esquema de líneas de agua por perfil en 'T' invertido. Vista frontal desde el interior de la cámara.

Figura 5.3.3.4 Vista del agua adherida por tensión superficial en la junta rebajada de 5 mm de espesor.

Figura 5.3.3.4 Esquema de infiltración de agua por tensión superficial en junta rebajada de 5 mm de espesor. Vista en planta.

Figura 5.3.3.5 Esquema de infiltración de agua por pared de junta vertical rebajada de 5 mm. Vista frontal desde interior de la cámara de aire.

Figura 5.3.3.6 Esquema proyección de agua en esquina de junta vertical rebajada de 5 mm. Vista frontal desde interior de la cámara de aire.

Figura 5.3.3.7 Imagen de la junta vertical rebajada de 7,5 mm.

Figura 5.3.3.8 Imagen de junta vertical rebajada de 7,5 mm.

Figura 5.3.3.9 Imagen de hilos de agua en el perfil que sustenta los aplacados de juntas verticales rebajadas de 7,5 mm.

Figura 5.3.3.10 Esquema de canal de agua en junta rebajada. Vista frontal desde el interior de la cámara.

Figura 5.3.3.11 Imagen del agua que discurre por la junta vertical rebajada de 7,5 mm. Vista desde el interior de la cámara.

Figura 5.3.3.12 Imagen del agua discurrendo por la junta vertical rebajada desde la zona superior de la misma.

Figura 5.3.3.13 Imagen de líneas de agua en el perfil que sustenta los aplacados de juntas verticales rebajadas de 10 mm.

Figura 5.3.3.14 Esquema del agua que discurre por la junta vertical rebajada de 10 mm. Vista frontal desde el interior de la cámara.

Figura 5.3.3.15 Imagen del agua que discurre por la junta vertical rebajada de 10 mm. Vista frontal desde el interior de la cámara.

Figura 5.3.4.1 Esquema del agua que desciende por gravedad, en la acanaladura del canto de la junta vertical, debido a la pérdida de velocidad del aire que la arrastra al interior de la cámara.

Figura 5.3.4.2 Esquema del conducto de 4 mm que provoca que el agua que lo atraviesa arrastrada por la acción de aire sea de cantidades similares en amplitudes de junta de 5, 7,5 y 10 mm.

Figura 5.4.1 Esquema de los diseños de junta vertical (lisa, acanalada y rebajada) y horizontal lisa.

Figura 5.4.3 Esquema de prototipo de fachada ventilada con junta vertical y junta horizontal, incluyendo situación de boquillas de proyección de agua

Figura 5.4. 4 Cuadro de equivalencia entre presión (Pa) y velocidad (Km/h)

Figura 5.4.1.1 Esquema de junta vertical lisa y horizontal lisa para las amplitudes de 5, 7.5, 10 mm.

Figura 5.4.1.2 Imagen del menisco que se produce en la junta horizontal de 5 mm. Sección transversal.

Figura 5.4.1.3 Imagen del desbordamiento de agua de la junta horizontal lisa de 5 mm en su encuentro con la junta vertical. Alzado desde el interior de la cámara de aire.

Figura 5.4.1.4 Imagen del desbordamiento de la junta horizontal debido a la presión de aire. Vista desde el interior de la cámara de aire.

Figura 5.4.1.5 Imagen de la acanaladura que se practica a las piedras para su anclaje a la subestructura.

Figura 5.4.1.6 Detalle de la imagen del desbordamiento de la junta horizontal debido a la presión de aire. Vista desde el interior de la cámara de aire.

Figura 5.4.1.7 Imagen del menisco en la junta horizontal lisa y del humedecimiento al borde del canto.

Figura 5.4.1.8 Imagen del agua que cae por la junta vertical. Sección por junta vertical.

Figura 5.4.1.8 Esquema de cómo el agua fluye por la junta vertical. Vista frontal desde el interior de la cámara.

Figura 5.4.1.9 Imagen de junta horizontal lisa de 7,5 mm. Sección.

Figura 5.4.1.10 Esquema de la proyección del agua a través e la junta vertical sobre el

perfil en T debida a la acción del aire.

Figura 5.4.1.11 Imagen del agua que desborda por la junta horizontal de 7,5 mm de canto liso.

Figura 5.4.1.12 Esquema de las gotas de agua en el interior de la junta horizontal lisa de 10 mm. Sección de la junta.

Figura 5.4.1.13 Esquema de la fuerza gravitatoria en junta vertical lisa y horizontal lisa.

Figura 5.4.1.14 Esquema de la energía cinética en junta vertical lisa y horizontal lisa.

Figura 5.4.1.15 Esquema de la tensión superficial y la capilaridad en junta vertical lisa y horizontal lisa.

Figura 5.4.1.16 Esquemas de la diferencia de presión y ráfagas de viento en junta vertical lisa y horizontal lisa.

Figura 5.4.2.1 Esquema de junta vertical acanalada y horizontal lisa para las amplitudes de 5, 7.5, 10 mm.

Figura 5.4.2.2 Esquema de infiltración de agua por junta vertical. Vista frontal de aplacados con junta vertical acanalada y horizontal lisa.

Figura 5.4.2.2 Imagen de la esquina inferior de la junta vertical acanalada oculta por el perfil en T. Vista desde la cámara de aire.

Figura 5.4.2.3 Imagen del ensayo de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 5 mm. Vista desde la cámara de aire.

Figura 5.4.2.4 Vista del interior de la cámara de aire a los 21 minutos de iniciado el ensayo de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 5 mm en situación de sobrepresión y cámara sin ecualizar.

Figura 5.4.2.5 Vista del interior de la cámara de aire con desbordamientos puntuales de la junta horizontal de 5 mm.

Figura 5.4.2.6 Vista del interior de la cámara de aire con desbordamientos puntuales de la junta horizontal de 5 mm.

Figura 5.4.2.7 Esquema del comportamiento de la gota de agua en la junta horizontal lisa de 7,5 mm.

Figura 5.4.2.8 Vista de la junta horizontal lisa de 7,5 mm desde el interior de la cámara de aire.

Figura 5.4.2.9 Vista desde el interior de la cámara de aire del ensayo de junta vertical acanalada y horizontal lisa.

Figura 5.4.2.10 Vista de la junta horizontal lisa de 7,5 mm en ensayo a presión atmosférica.

Figura 5.4.2.11 Vista desde el interior de la cámara del agua que se infiltra por la junta horizontal lisa de 7,5 mm y discurre por la piedra.

Figura 5.4.2.12 esquema del comportamiento del agua en la junta horizontal lisa de 10 mm.

Figura 5.4.2.13 Vista desde el interior de la cámara de la junta horizontal lisa de 10 mm.

Figura 5.4.2.14 Vista desde el interior de la cámara de la infiltración de agua a través de la junta horizontal lisa de 10 mm.

Figura 5.4.2.14 Vista de la infiltración de agua a través de la junta horizontal lisa de 10 mm.

Figura 5.4.2.15 Vista de las gotas de agua en el canto de la junta horizontal lisa de 10 mm.

Figura 5.4.2.16 Esquema del agua que discurre por la junta vertical acanalada de 5 mm procedente de la junta horizontal.

Figura 5.4.2.17 Esquema del agua que discurre por la junta vertical acanalada de 7,5 mm procedente de la junta horizontal.

Figura 5.4.2.18 Esquema del agua que discurre por la junta vertical acanalada de 10 mm procedente de la junta horizontal.

Figura 5.4.2.19 Esquema de la fuerza gravitatoria en junta vertical acanalada y horizontal lisa.

Figura 5.4.2.20 Esquema de la energía cinética en junta vertical acanalada y horizontal lisa.

Figura 5.4.2.21 Esquema de la tensión superficial y la capilaridad en junta vertical acanalada y horizontal lisa.

Figura 5.4.1.22 Esquemas de la diferencia de presión y ráfagas de viento en junta vertical acanalada y horizontal lisa.

Figura 5.4.3.1 Esquema de junta vertical rebajada y horizontal lisa para las amplitudes de 5, 7.5, 10 mm.

Figura 5.4.3.2 Vista del agua que desborda por la junta horizontal lisa.

Figura 5.4.3.3 Vista del agua que rebosa por la junta horizontal lisa.

Figura 5.4.3.4 Vista del taponamiento de la junta horizontal lisa de 5 mm que desborda por zonas puntuales.

Figura 5.4.3.5 Esquema de cómo el agua se introduce a través de la junta vertical rebajada.

Figura 5.4.3.6 Vista del taponamiento de la junta horizontal lisa de 5 mm que desborda por zonas puntuales.

Figura 5.4.3.7 Vista del taponamiento de la junta horizontal lisa de 5 mm .

Figura 5.4.3.8 Vista del ensayo de junta vertical rebajada y horizontal lisa.

Figura 5.4.3.9 Vista de agua al infiltrarse por la junta horizontal lisa de 7,5 mm.

Figura 5.4.3.10 Esquema de agua en la junta horizontal lisa de 7,5 mm.

Figura 5.4.3.11 Vista de agua al infiltrarse por la junta horizontal lisa de 7,5 mm.

Figura 5.4.3.12 Vista de agua al infiltrarse por la junta horizontal lisa de 10 mm.

Figura 5.4.3.13 Vista de las burbujas de agua que se generan en la junta horizontal lisa de 10 mm.

Figura 5.4.3.14 Vista desde la cámara de la humedad en las piedras inferiores al finalizar el ensayo de junta vertical rebajada y horizontal lisa con cámara sin ecualizar y sobrepresión.

Figura 5.4.3.15 Vista de agua al infiltrarse por la junta horizontal lisa de 10 mm.

Figura 5.4.3.16 Esquema del agua que discurre por la junta vertical rebajada de 5 mm procedente de la junta horizontal.

Figura 5.4.3.17 Esquema del agua que discurre por la junta vertical rebajada de 7,5 mm procedente de la junta horizontal.

Figura 5.4.3.18 Esquema del agua que discurre por la junta vertical rebajada de 10 mm procedente de la junta horizontal.

Figura 5.4.3.16 Esquema de la fuerza gravitatoria en junta vertical rebajada y horizontal lisa.

Figura 5.4.3.18 Esquema de la tensión superficial y la capilaridad en junta vertical rebajada y horizontal lisa.

Figura 5.4.1.19 Esquemas de la diferencia de presión y ráfagas de viento en junta vertical rebajada y horizontal lisa.

Figura 5.4.4.1 Esquema de recorrido del agua en ausencia de aire por la junta vertical acanalada y horizontal lisa, y por la junta vertical rebajada y horizontal lisa para amplitudes de 5 mm.

Figura 5.4.4.2 Esquema de recorrido del agua en ausencia de aire por la junta vertical acanalada y horizontal lisa, y por la junta vertical rebajada y horizontal lisa para

amplitudes de 7,5 mm.

Figura 5.4.4.3 Esquema de recorrido del agua en ausencia de aire por la junta vertical acanalada y horizontal lisa, y por la junta vertical rebajada y horizontal lisa para amplitudes de 10 mm.

Figura 5.5.1 Esquema de junta vertical acanalada y horizontal rebajada para las amplitudes de 5, 7.5 y 10 mm.

Figura 5.5.2 Vista de la colocación de los aplacados con junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

Figura 5.6.3 Vista desde el exterior del canto horizontal rebajado en el aplacado inferior.

Figura 5.5.5 Vista de la junta vertical acanalada de 5mm.

Figura 5.5.6 Vista de la comprobación del espesor de la junta vertical acanalada con el calibre.

Figura 5.5.7 Esquema del tapón de agua en junta horizontal rebajada de 5 mm.

Figura 5.5.8 Vista desde el interior de la cámara la subestructura que oculta la junta vertical.

Figura 5.5.9 Vista desde el interior de la cámara de la infiltración de agua por la junta vertical.

Figura 5.5.10 Vista desde el interior de la cámara del ensayo de junta vertical acanalada y horizontal rebajada para amplitud de 5 mm en situación de cámara sin ecualizar y sobrepresión.

Figura 5.5.11 Esquema del tapón de agua en junta horizontal rebajada de 5 mm.

Figura 5.5.12 Vista desde el interior de la cámara del ensayo de junta vertical acanalada y horizontal rebajada para amplitud de 5 mm en situación de cámara ecualizada y presión atmosférica.

Figura 5.6.13 Vista desde el interior de la cámara del ensayo de junta vertical acanalada y horizontal rebajada para amplitud de 7,5 mm en situación de cámara sin ecualizar y sobrepresión.

Figura 5.5.14 Esquema de cómo se introduce el agua en la junta horizontal rebajada de 7,5 mm.

Figura 5.6.15 Vista desde la zona de proyección de agua del ensayo de junta vertical acanalada y horizontal rebajada para amplitud de 7,5 mm en situación de cámara ecualizada y sobrepresión.

Figura 5.5.16 Esquema del movimiento del agua en la junta horizontal rebajada de 7,5

mm sin acción del aire.

Figura 5.5.17 Vista desde el interior de la cámara de la junta horizontal rebajada para amplitud de 7,5 mm en situación de cámara ecualizada y sobrepresión.

Figura 5.5.18 Vista desde el interior de la cámara de la humedad que se origina en torno a la junta horizontal rebajada para amplitud de 7,5 mm.

Figura 5.5.19 Vista de la junta vertical acanalada de 10 mm.

Figura 5.5.20 Vista de la junta horizontal rebajada de 10 mm.

Figura 5.5.21 Vista de la humedad en el rebaje interior de la junta horizontal rebajada de 10 mm.

Figura 5.6.22 Esquema del movimiento del agua en la junta horizontal rebajada de 10 mm.

Figura 5.5.23 Vista del agua infiltrada por la junta vertical acanalada que se acumula en la cámara de aire.

Figura 5.5.24 Vista del ensayo de junta horizontal rebajada y vertical acanalada de 10mm.

Figura 5.5.25 Esquema de la fuerza gravitatoria en junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

Figura 5.6.26 Esquema de la energía cinética en junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

Figura 5.5.27 Esquema de la tensión superficial y la capilaridad en junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

Figura 5.5.28 Esquemas de la diferencia de presión y ráfagas de viento en junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

Figura 6.1 Esquema del agua que desciende por gravedad, en la acanaladura del canto de la junta vertical, debido a la pérdida de velocidad del aire que la arrastra al interior de la cámara.

Figura 6.2 Esquema del conducto de 4 mm que provoca que el agua que lo atraviesa, arrastrada por la acción de aire, sea de cantidades similares en amplitudes de junta de 5, 7,5 y 10 mm.

Figura 6.3 Esquema de recorrido del agua en ausencia de aire por la junta vertical acanalada y horizontal lisa y por la junta vertical rebajada y horizontal lisa para amplitudes de 5 mm.

Figura 6.4 Esquema de recorrido del agua en ausencia de aire por la junta vertical acanalada y horizontal lisa, y por la junta vertical rebajada y horizontal lisa para

amplitudes de 10 mm.

Figura 6.5 Esquema de recorrido del agua por la junta vertical acanalada y por la junta vertical rebajada, para amplitudes de 10 mm.

Figura 6.6 Esquema de recorrido del agua por la junta vertical acanalada y por la junta horizontal rebajada, para amplitudes de 10 mm.

TABLAS

Tabla 5.3.1 Enumeración de ensayos tipo a realizar para una fachada trasventilada de piedra con junta vertical.

Tabla 5.3.1.1 Resultados de ensayos tipo 1 a 4 de fachada ventilada de junta vertical lisa de 5 mm de espesor.

Tabla 5.3.1.2 Resultados de ensayos tipo 5 a 8 de fachada ventilada de junta vertical lisa de 7,5 mm de espesor.

Tabla 5.3.1.3 Resultados de ensayos tipo 9 a 12 de fachada ventilada de junta vertical lisa de 10 mm de espesor.

Tabla 5.3.1.4. Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical lisa de 5, 7.5 y 10 mm de espesor.

Tabla 5.3.2.1 Resultados de ensayos tipo 13 a 16 de fachada ventilada de junta vertical acanalada de 5 mm de espesor.

Tabla 5.3.2.2 Resultados de ensayos tipo 17 a 20 de fachada ventilada de junta vertical acanalada de 7,5 mm de espesor.

Tabla 5.3.2.3 Resultados de ensayos tipo 21 a 24 de fachada ventilada de junta vertical acanalada de 10 mm de espesor.

Tabla 5.3.2.4. Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical acanalada de 5, 7.5 y 10 mm de espesor.

Tabla 5.3.3.1 Resultados de ensayos tipo 25 a 28 de fachada ventilada de junta vertical rebajada de 5 mm de espesor.

Tabla 5.3.3.2 Resultados de ensayos tipo 29 a 32 de fachada ventilada de junta vertical rebajada de 7,5 mm de espesor.

Tabla 5.3.3.3 Resultados de ensayos tipo 33 a 36 de fachada ventilada de junta vertical rebajada de 10 mm de espesor.

Tabla 5.3.3.4 Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical rebajada de 5, 7.5 y 10 mm de espesor.

Tabla 5.4.1 Enumeración de ensayos tipo a realizar para una fachada trasventilada de

piedra con junta vertical.

Tabla 5.4.1.1 Resultados de ensayos tipo 37 a 40 de fachada ventilada de junta vertical lisa y horizontal lisa de 5 mm de espesor.

Tabla 5.4.1.2 Resultados de ensayos tipo 41 a 44 de fachada ventilada de junta vertical lisa y horizontal lisa de 7,5 mm de espesor.

Tabla 5.4.1.3 Resultados de ensayos tipo 45 a 48 de fachada ventilada de junta vertical lisa y horizontal lisa de 10 mm de espesor.

Tabla 5.4.2.1 Resultados de ensayos tipo 49 a 52 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 5 mm de espesor.

Tabla 5.4.2.2 Resultados de ensayos tipo 53 a 56 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 7,5 mm de espesor.

Tabla 5.4.2.3 Resultados de ensayos tipo 57 a 60 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 10 mm de espesor.

Tabla 5.4.2.4 Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 5, 7.5, 10 mm de espesor.

Tabla 5.4.3.1 Resultados de ensayos tipo 61 a 64 de fachada ventilada de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 5 mm de espesor.

Tabla 5.4.3.2 Resultados de ensayos tipo 65 a 68 de fachada ventilada de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 7,5 mm de espesor.

Tabla 5.4.3.3 Resultados de ensayos tipo 69 a 72 de fachada ventilada de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 10 mm de espesor.

Tabla 5.4.3.4 Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 5, 7.5, 10 mm de espesor.

Tabla 5.5.1 Resultados de ensayos tipo 73 a 76 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 5 mm de espesor.

Tabla 5.5.2 Resultados de ensayos tipo 77 a 80 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 7,5 mm de espesor.

Tabla 5.5.3 Resultados de ensayos tipo 81 a 84 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 10 mm de espesor.

Tabla 5.5.4 Cuadro resumen de resultados de ensayos de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 5, 7.5, 10 mm de espesor.

GRÁFICAS

Gráfica 5.3.1.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 1 a 4 de fachada ventilada de junta vertical lisa de 5 mm de espesor.

Gráfica 5.3.1.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 5 a 8 de fachada ventilada de junta vertical lisa de 7,5 mm de espesor.

Gráfica 5.3.1.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 9 a 12 de fachada ventilada de junta vertical lisa de 10 mm de espesor.

Gráfica 5.3.1.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical lisa.

Gráfica 5.3.2.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 13 a 16 de fachada ventilada de junta vertical acanalada de 5 mm de espesor.

Gráfica 5.3.2.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 17 a 20 de fachada ventilada de junta vertical acanalada de 7,5 mm de espesor.

Gráfica 5.3.2.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 21 a 24 de fachada ventilada de junta vertical acanalada de 10 mm de espesor.

Gráfica 5.3.2.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical acanalada.

Gráfica 5.3.2.5 Porcentaje de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión en relación al agua proyectada para una fachada sin ecualizar con junta vertical acanalada.

Gráfica 5.3.3.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 25 a 28 de fachada ventilada de junta vertical rebajada de 5 mm de espesor.

Gráfica 5.3.3.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 29 a 32 de fachada ventilada de junta vertical rebajada de 7,5 mm de espesor.

Gráfica 5.3.3.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 33 a 36 de fachada ventilada de junta vertical rebajada de 10 mm de espesor.

Gráfica 5.3.3.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical rebajada.

Gráfica 5.3.3.5 Porcentaje de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión, en relación al agua proyectada, para una fachada sin ecualizar con junta vertical rebajada.

Gráfica 5.3.4.1 Comparativa de agua infiltrada en relación al agua proyectada en prototipo de fachada ventilada con junta vertical según diseño de 5mm.

Gráfica 5.3.4.2 Comparativa de agua infiltrada en relación al agua proyectada en prototipo de fachada ventilada con junta vertical según diseño de 7,5 mm.

Gráfica 5.3.4.3 Comparativa de agua infiltrada en relación al agua proyectada en prototipo de fachada ventilada con junta vertical según diseño de 10 mm.

Gráfica 5.3.4.4 Comparativa de agua infiltrada en relación al agua proyectada en prototipo de fachada ventilada con juntas vertical según diseño y espesor. En condiciones de cámara sin ecualizar y sobrepresión.

Gráfica 5.4.1.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 37 a 40 de fachada ventilada de junta vertical lisa y horizontal lisa de 5 mm de espesor.

Gráfica 5.4.1.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 41 a 44 de fachada ventilada de junta vertical lisa y horizontal lisa de 7,5 mm de espesor.

Gráfica 5.4.1.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 45 a 48 de fachada ventilada de junta vertical lisa y horizontal lisa de 10 mm de espesor.

Gráfica 5.4.1.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical lisa y horizontal lisa.

Gráfica 5.4.1.5 Porcentaje de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión en relación al agua proyectada para una fachada sin ecualizar con junta vertical lisa y horizontal lisa.

Gráfica 5.4.2.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 49 a 52 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 5 mm de espesor.

Gráfica 5.4.2.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 53 a 56 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 7,5 mm de espesor.

Gráfica 5.4.2.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 57 a 60 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal lisa de 10 mm de espesor.

Gráfica 5.4.2.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua

proyectada según espesores de junta vertical acanalada y horizontal lisa.

Gráfica 5.4.1.5 Porcentaje de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión en relación al agua proyectada para una fachada sin ecualizar con junta vertical acanalada y horizontal lisa.

Gráfica 5.4.3.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 61 a 64 de fachada ventilada de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 5 mm de espesor.

Gráfica 5.4.3.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 65 a 68 de fachada ventilada de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 7,5 mm de espesor.

Gráfica 5.4.3.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 69 a 72 de fachada ventilada de junta vertical rebajada y horizontal lisa de 10 mm de espesor.

Gráfica 5.4.3.5 Porcentajes de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión en relación al agua proyectada para una fachada sin ecualizar con junta vertical acanalada y horizontal lisa.

Gráfica 5.4.4.1 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según diseño de junta vertical y horizontal lisa para 5 mm de espesor.

Gráfica 5.4.4.2 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según diseño de junta vertical y horizontal lisa para 7,5 mm de espesor.

Gráfica 5.4.4.3 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según diseño de junta vertical y horizontal lisa para 10 mm de espesor.

Gráfica 5.4.4.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según diseño de junta vertical y horizontal lisa para 5 , 7,5 y 10 mm de espesor con cámara sin ecualizar y sobrepresión.

Gráfica 5.5.1 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 73 a 76 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 5 mm de espesor.

Gráfica 5.6.2 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 77 a 80 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 7,5 mm de espesor.

Gráfica 5.5.3 Porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada en ensayos tipo 81 a 84 de fachada ventilada de junta vertical acanalada y horizontal rebajada de 10 mm de espesor.

Gráfica 5.5.4 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

Gráfica 5.5.5 Porcentaje de agua infiltrada por tensión superficial y por diferencia de presión en relación al agua proyectada para una fachada sin ecualizar con junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

Gráfica 6.1 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según diseño de junta vertical.

Gráfica 6.2 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según diseño de junta vertical y junta horizontal lisa.

Gráfica 6.3 Comparativa de porcentaje de agua infiltrada en relación al agua proyectada según espesores de junta vertical acanalada y horizontal rebajada.

